

Thomas Mayer-Gall

Torsten Textor

Jochen S. Gutmann

**Entwicklung von Ausrüstungen zur Verbesserung der Scheuer-
bzw. Abrasionsbeständigkeit von textilen Flächengebilden**

Thomas Mayer-Gall^{1,2}

Torsten Textor³

Jochen S. Gutmann^{1,2}

¹ Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West gGmbH, Krefeld, Germany

² Physikalische Chemie, Universität Duisburg-Essen, and Center for Nanointegration Duisburg-Essen, Essen, Germany

³ Hochschule Reutlingen, Fakultät Textil & Design, Alteburgstr. 150, 72762 Reutlingen

Entwicklung von Ausrüstungen zur Verbesserung der Scheuer- bzw. Abrasionsbeständigkeit von textilen Flächengebilden

Das Forschungsvorhaben IGF-Nr. 18059 N der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstr. 12-14, 10117 Berlin, wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Der Schlussbericht ist erhältlich beim Deutschen Textilforschungszentrum Nord-West gGmbH, Adlerstraße 1, 47798 Krefeld.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 ZUSAMMENFASSUNG	1
2 EINLEITUNG	2
2.1 Abrasion und Scheuerbeständigkeit	2
2.2 Stand der Forschung und Entwicklung	5
2.2.1 Arbeitshypothese	10
3 ZIELSETZUNG	14
3.1 Forschungsziel	14
4 EXPERIMENTELLES	16
5 ERGEBNISSE	17
5.1 Gewebe Auswahl	17
5.2 Analytik und Beurteilung des Schadbildes	17
5.2.1 Reproduzierbarkeit und Fehler	18
5.2.2 Vergleich der Kraftwirkung	19
5.2.3 Entwicklung der Schadensfläche über die Scheuerzyklen	22
5.3 Prüfmethoden der Scheuerbeständigkeit	23
5.3.1 Vergleich der Schädigung	24
5.3.2 Gewebeschädigung durch Wäschen	29
5.4 Einfluss der Ausrüstung	30
5.4.1 Vergleich unterschiedlicher Gewebe Teil 1 - Lieferzustand	31
5.4.2 Einfluss harter anorganischer Dünnschichten	33
5.4.3 Organisch-anorganische Hybridpolymere zur Kontrolle der Flexibilität und Härte der Ausrüstung	35
5.4.4 Vergleich unterschiedlicher Gewebe Teil 2 – Einfluss der Ausrüstungen im Vergleich	40
5.4.5 Einfluss der Oberflächenenergie der Beschichtung auf die Scheuerbeständigkeit	42
5.5 Weichgriffausrüstungen als Verbesserung der Scheuerbeständigkeit	50
5.5.1 Industrielle Ausrüstungen	50

5.5.2	Vergleich zu Sol-Gel Ausrüstungen	51
5.6	Nanopartikel für eine verbesserte Abrasionsbeständigkeit	51
5.6.1	Einflusses der Nanopartikelgröße	52
5.6.2	Einfluss der Auflage des Nanopartikelanteils	52
5.7	Kombinierte Beschichtungen – Optimierte Beschichtung	54
Abbildung :		55
5.8	Analyse der Schadensbilder	56
5.9	Zusammenfassung	62
5.9.1	Verbesserung der Scheuerbeständigkeit von PET	63
5.9.2	Verbesserung der Scheuerbeständigkeit von CO	64
6	WERTENDE ZUSAMMENFASSUNG	67
6.1	Gegenüberstellung der Ergebnisse mit der Zielsetzung des ursprünglichen Forschungsantrags	67
7	DANKSAGUNG	69
8	DURCHFÜHRENDE FORSCHUNGSSTELLE	69
9	LITERATUR	70

1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollten die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Sol-Gel-Ausrüstung für die Verbesserung der Scheuer-/Abrasionsbeständigkeit für Gewebe aus unterschiedlichen Fasermaterialien untersucht werden. Dabei lag der Schwerpunkt auf Textilien für die Bereiche Bekleidung-/Berufsbekleidung sowie Bezugstoffe (Möbel, Automotive, Personentransport).

Das grundsätzliche Konzept der Sol-Gel-Technik bzw. der Herstellung von organisch-anorganischen Hybridpolymeren erlaubt die Synthese und Applikation von Beschichtungen mit in weiten Grenzen einstellbaren Eigenschaften. Die Oberflächen solcher Ausrüstungen können sehr glatt bis rau sein, die Schichten können glasartig hart bis weich sein, und sie können die Flexibilität, den Griff des textilen Flächengebildes weniger oder stärker beeinflussen. Anhand entsprechender Variationen sollte untersucht werden, wie sich entsprechende Eigenschaften im Zusammenspiel auf die Scheuerbeständigkeit eines textilen Flächengebildes auswirken, um so ein tieferes Verständnis zu erlangen, wie Scheuerfestausrüstungen optimiert werden können. Im Rahmen des Projektes wurden unterschiedliche Sol-Gel-Ausrüstungen realisiert, welche die Abrasionsbeständigkeit von Textilien verbesserten. Dabei zeigte sich, dass auf Baumwolle insbesondere niedrige Auflagen und eher weiche/flexible Beschichtungssysteme die Abrasionsbeständigkeit verbessern, für PET konnte hingegen gegenteiliges gezeigt werden. Dort wirken höhere Auflage und starre/harte Beschichtungen besser.

Ferner konnte gezeigt werden, dass man mit Hilfe von klassische textilphysikalische Parameter wie Höchstzugkräfte, Haft- bzw. Gleitreibung, Tropfeneinsinkzeiten bzw. DuPont- und Öl-Noten und Biegesteifigkeiten keine Aussagen zur Scheuerbeständigkeit machen kann. Dafür konnte herausgearbeitet werden, dass man für ein Verständnis der Abrasionsbeständigkeit, sich mit der Mechanik des Faden im Gewebes und der einzelnen Fasern im Faden auseinander setzen muss, da die Abrasionsbeständigkeit nach der Martindale-Methode maßgeblich von diese mechanischen Parameter abhängt.

Zusätzlich zu den Zielen des Antrages, konnte eine neue Methode zur Quantifizierung der Schädigung nach der Martindale-Methode entwickelt werden. Diese Methode benutzt als Hilfsmittel die Mikroskopie um damit die Beschädigung in Form von Schadensflächen zu quantifizieren.

Die Ziele des Forschungsvorhabens wurden erreicht.

2 Einleitung

2.1 Abrasion und Scheuerbeständigkeit

Textilien sind in unterschiedlichsten Einsatzszenarien scheuernden bzw. abrasiven Beanspruchungen ausgesetzt. So unterliegen z.B. ein Bürostuhl oder ein Sitzbezug im Bereich Automotive einer täglichen Belastung durch die Bewegung seines Nutzers – das heißt u.a. einer scheuernden Beanspruchung, die auftritt, wenn der Hosenstoff mit einem mehr oder weniger hohen Anpressdruck über den Bezugsstoff gerieben wird. Der Hosenstoff ist dabei natürlich ebenfalls einer Beanspruchung ausgesetzt. Genau wie viele Heim- und Bekleidungstextilien sind auch viele technische Textilien im Einsatz scheuernden oder abrasiven Beanspruchungen ausgesetzt, die je nach Anwendung deutlich höher sein können als bei besagtem Hosenstoff. Die Art der Beanspruchung beim Scheuern kann sehr unterschiedlich sein, da die Fasern abgerieben, verdreht, gebogen, eingequetscht oder gestaucht werden können. Als Folge dieser Beanspruchung kann es bei Verwendung von Garnen, die aus kurzen Fasern hergestellt wurden, zur Ausbildung von Pilling (Knötchen, Fussel, „Wollmäuse“) kommen [1], im Falle von Wolle zum Verfilzen. Die 3-dimensionale Struktur eines Textils kann durch Verschieben und/oder Herausziehen von Fasern oder Faserbündeln beeinträchtigt werden oder aber es kommt zu einer vollständigen Zerstörung des Garns, egal ob Stapelfaser- oder Filamentgarn. Die mechanische Beanspruchung kann dazu führen, dass z.B. nach und nach einzelne Fäden (oder Fasern) zerissen werden und so die Integrität des Flächengebildes immer stärker geschwächt wird. Es kann aber auch zu einem Materialabtrag von den Faseroberflächen (Reduzierung des Faserdurchmessers) kommen, wobei der Materialverlust zu einer immer stärkeren Schwächung der Fasern führt, an deren Ende ebenfalls das Zerreißen bzw. komplette Durchscheuern stehen kann. Neben diesen Schädigungen des textilen Flächengebildes kann auch der Einfluss scheuernder Beanspruchungen auf funktionelle Eigenschaften des Textils problematisch sein. Dies kann z.B. optische Eigenschaften betreffen, wie durch einen Abrieb des Farbstoffes oder durch das Verursachen eines unerwünschten Glanzes infolge der Beanspruchung. Ebenso gut können aber Ausrüstungen wie eine Fluorcarbonausrüstung von der Oberfläche abgerieben werden, wodurch bspw. der abweisende Effekt gegenüber Flüssigkeiten verloren gehen kann.

Zur Untersuchung der Scheuerbeständigkeit von textilen Flächengebilden finden verschiedene Messmethoden Anwendung. Im Bereich Bekleidungs- und Heimtextilien

spielt dabei vor allem die Martindale-Flachscheuerung (findet z.B. in der DIN EN ISO 12947-1 Verwendung) eine große Rolle. Hier wird ein Normgewebe (Wolle) mit definierter Gewichtsbelastung gegen das zu prüfende Material gerieben, wobei fortlaufend überprüft wird, nach wie vielen Scheuerzyklen es zu einer sichtbaren Schädigung des Prüfmateri als kommt. Die Eignung bzgl. einer Verschleißbeständigkeit unterschiedlicher Materialien für verschiedene Anwendungen lässt sich danach beurteilen. So sollte z.B. ein Sitzmöbel, dass im Privathaushalt genutzt wird, mindestens 15.000 Scheuerzyklen schadfrei überstehen, während eines, das am Arbeitsplatz genutzt wird, eine deutlich höhere Beständigkeit aufweisen sollte – hier werden im Allgemeinen 35.000 Scheuertouren verlangt. Neben dem Martindale-Test können aber, je nach Fragestellung und Anwendung, auch eine Reihe weiterer Testverfahren eingesetzt werden. Für Sitze in PKW testet man die Bezugstoffe z.B. mit einem anderen Rundscheuergerät („Schopper“, DIN 53863/2). Außerdem ist auch der aus anderen „nicht-textilen“ Bereichen sehr bekannte Taber-Abraser-Tester geeignet, um Informationen zur Abrasionsbeständigkeit zu erhalten. Das Crockmeter dient, anders als die vorherigen Testgeräte, der Bestimmung von Reibechtheiten (EN ISO 105-X12); hier wird untersucht, inwieweit bei einer reibenden Beanspruchung Farbstoffe oder andere Ausrüstungschemikalien von den Oberflächen eines Textils auf ein Begleitgewebe übertragen oder abgetragen werden. Neben diesen für eine breite Anwendung eingesetzten Testmethoden/-geräten sind eine ganze Reihe spezieller Methoden entwickelt worden, z.T. haben auch einzelne Hersteller eigene Methoden für ihre Produkte/Anwendungen entwickelt. Ein sehr spezieller Test für technische Textilien ist bspw. der Einlehner- bzw. Laufmeter-Test, bei dem aufgeschlämmte Pigmente/Partikel die textile Oberfläche beanspruchen – die Belastung kann zu massiver Abrasion führen, wie man an den untenstehenden Aufnahmen belasteter PET-Gewebe erkennen kann (vgl. Abbildung 2.1.1). Hier wurden große Mengen Polymer von der Faser abgetragen, wodurch das Flächengebilde zwangsläufig an Festigkeit verliert und im Einsatz zu versagen droht.

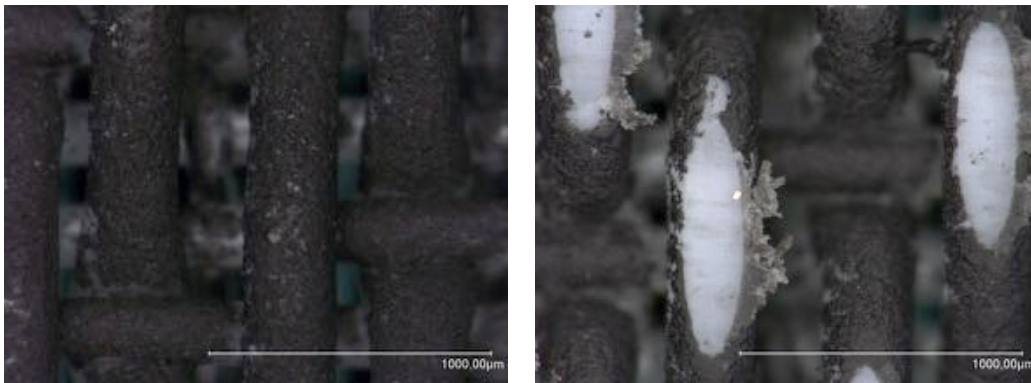


Abbildung 2.1.1. Technisches PET-Gewebe – zur besseren Visualisierung des Effektes angeschwärzt. Die linke Abbildung zeigt das Gewebe vor Durchführung des Einlehnertests, die rechte nach Durchführung.

Neben der rein mechanischen Zerstörung von Oberflächen können auch *tribooxidative* Zerstörungen auftreten. Dieser Einfluss spielt vor allem bei Metallen eine große Rolle und wird allgemein in den Untersuchungen von Textilien nicht näher beleuchtet, wenngleich entsprechende Einflüsse, wie unter anderem nicht veröffentlichte Untersuchungen am DTNW zeigen, nicht gänzlich vernachlässigt werden sollten. Zumindest Grenzflächeneigenschaften können hier stark verändert werden, was die Benetzbarkeit mit Flüssigkeiten, die Anschmutzbarkeit und Abreinigbarkeit beeinflusst.

Grundsätzlich ist der Verschleiß von Oberflächen durch scheuernde oder abrasive Beanspruchung nicht nur ein Problem für die Textilindustrie. In allen Material- oder Produktbereichen ist der Schutz von Oberflächen gegen eine Beeinträchtigung oder Zerstörung von größter Bedeutung, seien es Lackoberflächen oder die Scheinwerfer von Automobilen, das Kunststoffbrillenglas, der Parkettboden oder die Displays von Monitoren, Fernsehern und Mobiltelefonen. Für alle diese Produkte sind scheuerbeständige Oberflächen von großer Bedeutung, entweder um die Optik des Produktes zu gewährleisten oder um das Produkt vor Zerstörung zu schützen. Kunststoffbrillengläser sind ein sehr gutes Beispiel, um zu zeigen, wie zielführend es sein kann, durch eine abrasionsschützende „Ausrüstung“ Materialien für neue Anwendungen nutzbar zu machen. Kunststoffbrillengläser bieten verschiedene Vorteile, die in der einfachen Herstellung der Linsen, dem im Vergleich zum herkömmlichen Glas geringen Gewicht und der geringeren Anfälligkeit gegenüber Bruch liegen. Gleichzeitig war ein Alltagsgebrauch aufgrund der im Vergleich zu Glas sehr geringen Kratz- oder Scheuerbeständigkeit der Kunststoffoberflächen aber über lange Zeit ausgeschlossen. Erst durch die Entwicklung von transparenten, harten Beschichtungen, die bei Temperaturen prozessiert werden können, die die thermische Stabilität der Kunst-

stoffgläser nicht überschreiten, war es möglich, entsprechende Produkte zu realisieren. Hier werden u.a. sogenannte anorganisch-organische Hybridpolymere, die nach dem Sol-Gel-Ansatz hergestellt werden eingesetzt.

Ziel im Rahmen dieses Projektes war es, Ausrüstungen zu entwickeln, die die Scheuer- bzw. Abrasionsbeständigkeit von textilen Flächengebilden verbessern. Die Ausrüstungen sollten auf Sol-Gel-basierten Systemen beruhen. Dabei stellen textile Oberflächen eine besondere Herausforderung dar, da neben einer ausreichenden Beständigkeit gegenüber der mechanischen Beanspruchung immer auch der Erhalt des textilen Charakters eine herausragende Rolle spielt. Dies umfasst u.a. je nach Produkt z.B. den Griff, die Steifigkeit und die offene textile Struktur. Abhängig von der Anwendung ergeben sich gleichzeitig weitere Anforderungen, die bei vielen nicht-textilen Substraten nicht bestehen, wie etwa das Benötigen einer Dauerknick- und/oder einer Waschbeständigkeit. Bei Sol-Gel-basierten Ausrüstungen können z.B. die Härte, die Flexibilität oder auch die Rauigkeit der Ausrüstung variiert werden, unter anderem kann die Verschiebefestigkeit und der Griff des ausgerüsteten Produktes verändert werden, und es können unterschiedliche Auftragshöhen realisiert werden. Anhand entsprechender Variationen soll untersucht werden, wie sich entsprechende Eigenschaften im Zusammenspiel auf die Scheuerbeständigkeit eines textilen Flächengebildes auswirken, um so ein tieferes Verständnis zu erlangen, wie Scheuerfestausrüstungen optimiert werden können.

2.2 Stand der Forschung und Entwicklung

Es gibt verschiedene Ansätze, Textilien mit einer hohen Scheuerbeständigkeit herzustellen bzw. auszustatten. Der sinnvollerweise in der Regel erste Ansatz ist dabei die Auswahl eines geeigneten Faserpolymers mit möglichst hoher Scheuerbeständigkeit. Dabei stellt sich das Problem, dass sich die allgemeine Eignung für die gewünschte Anwendung und die Scheuerbeständigkeit in vielen Fällen nicht optimal ergänzen, weswegen entweder Kompromisse erforderlich werden oder aber Möglichkeiten gesucht werden müssen, das Produkt entsprechend zu verbessern. Fasermischungen werden eingesetzt, um mögliche Vorteile verschiedener Fasern zu kombinieren. Ein Beispiel sind Polyester-Baumwolle-Mischungen, die die Vorteile der Baumwolle z.B. bzgl. des Hautklimas mit der Festigkeit des PET kombinieren, wobei ein Gewinn in der mechanischen Beständigkeit mit Einbußen im Bereich Hautklima verbunden sein kann. Mischgewebe sind außerdem vor dem Hintergrund einer in

vielen Fällen erwünschten Sortenreinheit nachteilig. Neben der Auswahl des Faserpolymers spielt die Konstruktion eine wichtige Rolle [ii]. Bei gegebenem Faserpolymer kann z.B. durch den Wechsel der Konstruktion die Beständigkeit signifikant gesteigert werden. Ein einfacher Ansatz, um das Durchscheuern eines Gewebes im Gebrauch hinauszuzögern, wäre also die Herstellung eines entsprechend schwächeren Gewebes.

Zur nachträglichen Verbesserung der Scheuerbeständigkeit von Flächengebilden werden verschiedene Ansätze verfolgt, wobei die Oberflächen von Fasern bzw. Flächengebilden auf unterschiedliche Art und Weise modifiziert, ausgerüstet bzw. beschichtet werden können. Bei Einsatz von Silikonbeschichtungen bzw. –Ausrüstungen, wie sie bspw. zur Griffverbesserung appliziert werden, wird in vielen Fällen auf eine einhergehende Verbesserung der Abrasionsbeständigkeit von Geweben hingewiesen [iii]. Die Griffverbesserung geht u.a. mit einer geringeren Reibung gegenüber vielen Oberflächen einher, woraus eine geringere tribologische Belastung des Textil resultieren kann. Die Silikone führen aber nicht zwangsläufig zu Verbesserungen der Abrasionsbeständigkeit, wie etwa Celik et al. [iv] berichten. Polymere auf Fluorcarbon-Basis, unter anderem z.B. das PTFE, sind in der Regel relativ weiche Polymere mit einer geringen Kratzbeständigkeit, was bspw. von der klassischen Teflonpfanne bekannt ist. Die Gleiteigenschaften einer entsprechend modifizierten Oberfläche können aber, wie bei den Silikonen beschrieben, bei Textilien ebenfalls zu einer Verbesserung der Scheuerbeständigkeit führen. Die Verwendung von fluorierten Polymeren ist aber z.Zt. in der Diskussion, verschiedene große Textilfirmen haben den Verzicht bis 2016 bereits verkündet. Auf verringerte Reibung zielt auch die Etablierung von „Noppenstrukturen“ an der Oberfläche ab – eine gegen das Textil reibende Oberfläche soll dabei nicht (oder weniger) in direkten Kontakt mit dem Fasermaterial gelangen, sondern vielmehr auf der Noppenstruktur gleiten, wobei in der Regel das Beschichtungsmaterial eine bessere Abrasionsbeständigkeit haben soll als das Fasermaterial selbst (z.B. EP1573118). Die Optimierung der Applikation muss darauf abzielen, so viele Beschichtungspunkte wie nötig zu setzen, um die erwünschte Abrasionsbeständigkeit zu erreichen, aber auch so wenig wie möglich, um textile Eigenschaften des Substrats wie z.B. Flexibilität, Luft- und Wasserdampfdurchlässigkeit weitgehend aufrechtzuerhalten. Vergleichsweise hohe Abrasionsbeständigkeiten können selbstverständlich über eine geeignete Schwerbeschichtung erzielt werden, die dann die offene textile Struktur aber vollständig maskiert. Solche beschichteten

Textilien sind dann eher als Komposites anzusehen, wie man sie aus den Bereichen Transportband oder Dachmembranen kennt, Produkte, bei denen u.a. äußerst hohe Abrasionsbeständigkeiten erforderlich sind.

In der Patendliteratur findet man immer wieder Informationen zu Imprägnierungen oder Ausrüstungen, die die textile Struktur nicht verschließen. Bereits in den 1950er Jahren zeigt die verfügbare Literatur Zitate zu diesem Thema, zu diesen Zeiten aber sehr stark davon getrieben, dass Ansätze gesucht wurden, die durch die Hochveredlung verursachte Schwächung der Baumwollfasern zu kompensieren. So findet man auch in der aktuellen Textil-Enzyklopädie von Rouette bspw. Hinweise auf die Hajdu-Methode [US-Patent 2,871,145, Jahr 1959]. Hier werden in einem zweistufigen Prozess in einem ersten Bad Mischungen aus unterschiedlichen Gelbildnern (Alginate, Wasserglas, Caseine) appliziert, bevor eine weitere Imprägnierung des ungetrockneten Textils in einem Formaldehyd-haltigen Bad erfolgt. In DE2028115A1 (von 1971) wird die Ausrüstung mit Formulierungen mit methylierten Carbamaten u.a. zur Verbesserung der Abriebfestigkeit beschrieben. In WO03093566A2 (2003) werden Mischungen aus Silikonelastomeren und PU-basierten Pasten auf Baumwollgewebe gesprüht, getrocknet und anschließend gepresst, woraus eine Verbesserung der Abrasionsbeständigkeit resultiert. WO03066959A1 (2003) beschreibt die Ausrüstung von Vliesen mit einer wässrigen Mischung aus hydrophilen Silikonen, einem Soil-Release-Additiv und einem „Scheuerfestmittel“. Als *Scheuerfestmittel* werden High-Density-Polyethylene (wie sie z.B. als Avivage eingesetzt werden) oder Polyurethane deklariert.

Neben diesen Ansätzen über die Applikation von Polymeren wie Polyurethanen oder Silikonen oder den Einsatz von Schmier- bzw. Gleitmitteln gibt es vor allem in der neueren Literatur eine Reihe von Varianten zur Verbesserung der Scheuerbeständigkeit von Fasern respektive textilen Flächengebilden. Die Modifikation von Polymerfasern mittels Vakuumtechnologien u.a. der Plasmatechnologie [v] ist einer dieser Ansätze, der bis heute aufgrund des enormen technologischen und energetischen Aufwandes primär eher von akademischem Interesse ist. Der hohe Energiebedarf ergibt sich vor allem dadurch, dass man bei einer kontinuierlich arbeitenden Ausrüstungsanlage die für die Vakuumtechnologie erforderlichen Drücke garantieren muss. Mit Hilfe von Plasmapolymersationen können z.B. sehr dünne, gleichzeitig harte oder den Reibungskoeffizienten senkende Beschichtungen appliziert werden. So beschreiben Rosace et al. [vi] die Abscheidung von $\text{SiO}_x\text{C}_y\text{H}_z$ -Schichten über *Plasma-*

enhanced CVD auf Baumwolle und Baumwolle/PET-Mischgeweben und erzielen deutlich verbesserte Ergebnisse in Scheuertests, teilweise erhöht sich die Beständigkeit um 100%. Wie Thomas et al. [vii] beschreiben, kann über die Plasma-Behandlung von Wolle die Faseroberfläche geglättet und so der Reibungskoeffizient gesenkt werden – was bei Wolle primär als Filzfrei-Ausrüstung dient, aber durchaus auch interessant ist, um die Scheuerbeständigkeit zu erhöhen. In DE10000805A1 wurde bspw. im Jahr 2000 ebenfalls die Plasma-basierte Ausrüstung von Textilien, u.a. zur Verbesserung der Scheuerfestigkeit, beschrieben. Gerade im Bereich der Plasma-Beschichtung gibt es eine Vielzahl von hochinteressanten Veröffentlichungen. Problematisch bei grundsätzlichen Ansätzen ist die Tatsache, dass die Ausrüstung bei sehr niedrigen Drücken und z.T. in sehr definierten Atmosphären erfolgen muss, was wie erwähnt insbesondere die kontinuierliche Applikation apparativ sehr aufwändig macht. Hier gibt es immer wieder Ansätze zur Übertragung entsprechender Technologien in den Continue-Betrieb, allerdings ist den Antragstellern nicht bekannt, dass dies bis dato großtechnisch umgesetzt ist und eingesetzt wird.

Die Sol-Gel-Technik erlaubt die Ausrüstung oder Modifikation von Oberflächen mit anorganischen oder organisch-anorganischen Hybridschichten – diese Ausrüstungen/Beschichtungen können bspw. in gewissen Grenzen chemisch vergleichbar den $\text{SiO}_x\text{C}_y\text{H}_z$ -Schichten von Rosace et al. sein (s.o.). Der Vorteil gegenüber den Plasmatechnologien ist, dass die Ausrüstung mit Hilfe der Sol-Gel-Technik über konventionelle Applikationsverfahren wie Tauchen, Foulardieren, Pflatschen oder Sprühen erfolgt. Brzezinski et al. [viii] beschreiben eine Anti-Pilling-Ausrüstung, basierend auf SiO_x und Al_2O_3 , und verweisen darauf, dass diese die Scheuerbeständigkeit von Baumwolle/PET-Mischgeweben mit hohem PET-Anteil verbessern kann. Schramm et al. [ix] kombinieren eine Knitterfreieusrüstung, basierend auf 1,2,3,4-Butantetracarbonsäure und die Applikation eines Sols aus zwei Alkoxysilanen und erzielen so in einem Zweischrittverfahren ebenfalls Verbesserungen in der Scheuerbeständigkeit von Baumwolle. Mahltig et al. [x] berichten 2005 von Verbesserungen in der Abrasionsbeständigkeit von technischen PET-Siebgeweben.

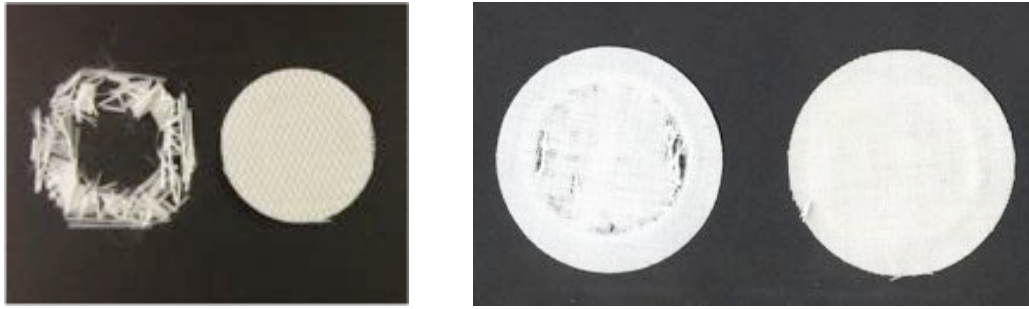


Abbildung 2.2.1 Muster nach Martindale-Scheuertests; die rechte Probe auf den Fotos ist jeweils die ausgerüstete Variante. Foto links: unausgerüstetes Glasfasergewebe, völlig zerstört nach weniger als 100 Zyklen, rechts: Gewebe nach 10.000 Scheuerzyklen ^[xi], Foto rechts: Baumwoll-Gewebe nach 18.500 Scheuerzyklen [Vorversuch mit wässrigen Sol].

Auch die Antragsteller haben in früheren Arbeiten zur Sol-Gel-Ausrüstung von Textilien Verbesserungen in der Scheuerbeständigkeit aufgezeigt ^[xii, xiii, xiv]. Dabei zielen die Ausrüstungen hier zunächst keineswegs auf eine verbesserte Scheuerbeständigkeit ab, vielmehr ergab sich dieser zusätzliche Effekt bei der Charakterisierung der unterschiedlich ausgerüsteten Gewebe. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt bspw. ein Glasfasergewebe (linkes Foto), das nach Ausrüstung mit einem lösemittelhaltigen Sol-Gel-System eine verbesserte Scheuerbeständigkeit aufweist. Eine Optimierung des Sol-Gel-Systems hinsichtlich einer Scheuerbeständigkeit fand hier nicht statt, die Abbildung hier soll vielmehr das Potenzial von Sol-Gel-Ausrüstungen anschaulich belegen. Das rechte Foto zeigt die Ergebnisse eines Scheuertests aus einem Vorversuch mit Baumwoll-Gewebe. Viele Sol-Gel-Ausrüstungen basieren auf lösemittelhaltigen Systemen, was für Textilveredler nach wie vor ein Ausschlusskriterium ist, vor diesem Hintergrund wurden hier im Rahmen der Vorversuche rein wässrig angesetzte Systeme getestet.

Der Einsatz von abrasionsbeständigen oder kratzbeständigen Beschichtungen auf Basis der Sol-Gel-Technologie für eine Vielzahl von Oberflächen aus Kunststoff oder Metall wird bspw. in Reviews von Schottner et al. ^[xv], Haas et al. ^[xvi] oder Aegerter et al. ^[xvii] beschrieben. Aus zuletzt genannten wird insbesondere deutlich, welche Vielzahl von Möglichkeiten die Sol-Gel-Technik bietet, multifunktionelle Beschichtungen zu realisieren. So werden hier bspw. stark wasser- und ölabweisende und gleichzeitig abrasionsbeständige Schichten beschrieben oder solche, die ultraviolettes Licht blocken. Textilien als Substrate werden hier nicht erwähnt, Substrate sind Scheiben, Folien oder Bauteile aus Metall, für die es auch bereits kommerzielle Umsetzungen der Technologie gibt. Auch das DTNW hat in der Vergangenheit erfolgreich in einem von der Industrie finanzierten Projekt an scheuer- bzw. kratz- und witterungsbestän-

digen Sol-Gel-Lacksystemen für Metallspiegel geforscht [^{xviii}]. Der Lack wird mittlerweile kommerziell eingesetzt. Die für dieses speziell entwickelte System relevanten Applikationsbedingungen und die mechanischen Eigenschaften des Lacks lassen eine Anwendung für Textilien allerdings nicht zu.

2.2.1 Arbeitshypothese

In eigenen Arbeiten des DTNW und in der Literatur findet man, wie oben angeführt, an verschiedenen Stellen Hinweise auf Verbesserungen in der Scheuerbeständigkeit von textilen Flächengebilden durch Ausrüstung mit Sol-Gel-Beschichtungen bzw. mit mehr oder weniger konventionellen Ausrüstungen in Kombination mit Sol-Gel-Systemen. Aus Sicht der Antragssteller gibt es bis dato aber keine eingehende Untersuchung zu den grundsätzlichen Grenzen und Möglichkeiten sowie zu den Effekten, die im einen oder anderen der in der Literatur beschriebenen Fälle für die Verbesserung der Beständigkeit verantwortlich sind. Die geringe Scheuerbeständigkeit eines Glasfasergewebes begründet sich zum überwiegenden Teil in der Anfälligkeit der einzelnen Glasfaserfilamente gegenüber Knicken oder scharfen Kanten – hier kommt es primär zum Brechen von Fasern, weshalb einfache Gewebe bereits nach wenigen Scheuerzyklen im Martindale-Test durchgescheuert sein können. Bei der Scheuerbeanspruchung des PET-Gewebes in Abbildung 2.1.1 kommt es zu einem Abreiben von Polymermaterial, wobei die Faser erst bei einem sehr hohen Abtrag reißt bzw. durchgescheuert wird. Vor allem bei den Naturfasergarnen spielt neben dem reinen Abtrag von Fasermaterial auch das Auflösen des Verbundes der zum Garn versponnenen Fasern eine wichtige Rolle, wobei neben dem Durchscheuern für die Anwendung auch die Pillingneigung eine wichtige Rolle spielen kann. Wenn also eine Sol-Gel-Ausrüstung ein Glasfasergewebe scheuerfester macht, so ist der ausschlaggebende Effekt, den die Ausrüstung hat, voraussichtlich ein anderer als der, der für eine Verbesserung bei einem PET-Gewebe verantwortlich ist. Aufgrund der Tatsache, dass sich die Schädigung des Flächengebildes sehr unterschiedlich zeigen kann z.B. über Faserbrüche oder -risse im Gewebe oder an der Oberfläche, herausstehende Fasern, Pilling, Verschiebung von Fasern, Abrasion von der Faseroberfläche oder auch bei ausgerüsteten Mustern das Delaminieren bzw. Abreiben der applizierten Ausrüstung/Beschichtung, stellt die Darstellung der Schädigung eine gewisse Herausforderung dar. Digitalmikroskope, die eine große Tiefenschärfe besitzen, eine schnelle „Tiefenzusammensetzung“ ermöglichen und eine Seitenlichtbe-

leuchtung aufweisen, sind hier geeignet, auch bei gleichzeitigem Auftreten verschiedener Schädigungen in unterschiedlich tiefen Bereichen des Textils diese gut abzubilden. Hierdurch wird es möglich, die verschiedenen Schadensmuster in angemessener Zeit umfassend darzustellen und zu charakterisieren. Dabei ergeben sich dann auch wichtige Informationen zur Wirksamkeit der sol-gel-basierten Ausrüstungen.

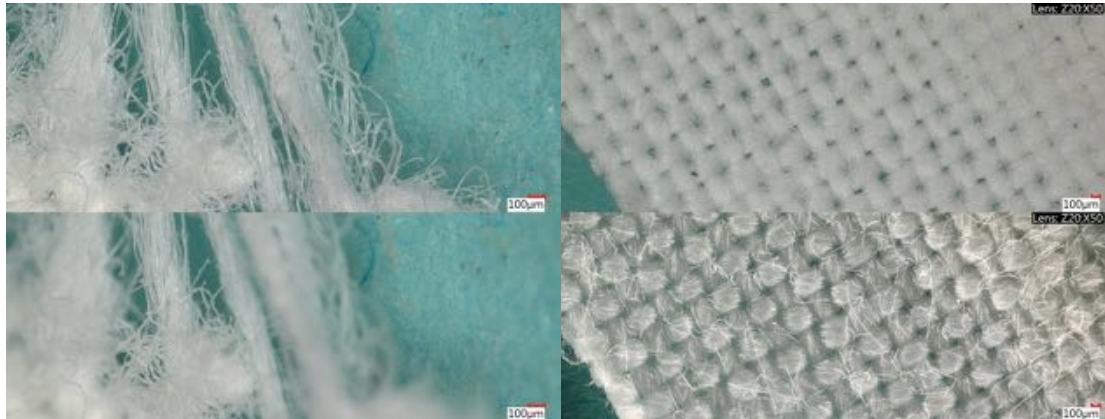


Abbildung 2.2.2. Mikroskopische Aufnahmen durchgeführt mit einem Digitalmikroskop – links, oben: deutlich zu erkennen der Vorteil einer Tiefenzusammensetzung, rechts, unten erkennt man den Vorteil der aus einer Seitenbeleuchtung entstehen kann.

Das grundsätzliche Konzept der Sol-Gel-Technik bzw. der Herstellung von organisch-anorganischen Hybridpolymeren erlaubt die Synthese und Applikation von Beschichtungen mit in weiten Grenzen einstellbaren Eigenschaften. Die Oberflächen solcher Ausrüstungen können sehr glatt bis rau sein, die Schichten können glasartig hart bis weich sein, und sie können die Flexibilität, den Griff des textilen Flächengebildes weniger oder stärker beeinflussen. Je nach Applikation und Substrat können sich die Ausrüstungen als dünne Schichten um die Fasern legen, sich primär in den Kreuzungspunkten wiederfinden oder auch die offene Struktur des textilen Flächengebildes verschließen. Die Antragsteller besitzen eine langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der Sol-Gel-Technik. In den vergangenen Jahren wurden eine Reihe von öffentlich geförderten und Industrieprojekten mit unterschiedlichen Zielsetzungen erfolgreich durchgeführt.

Der Sol-Gel-Ansatz ist stark vereinfacht am Beispiel eines SiO_2 -Soles in Abbildung 2.2.3 dargestellt. Ein Precursor wie das Tetraethoxysilan (TEOS) wird unter definierten Bedingungen, zumeist unter Verwendung eines Katalysators (Säure oder Base), hydrolysiert. Die monomeren Hydrolyseprodukte sind nur in großer Verdünnung stabil, und es kommt bei Überschreiten dieser Konzentrationen nach eingeleiteter Hydrolyse zu Kondensationsreaktionen der gebildeten Silanol-Spezies. Die fort-

schreitende Kondensation führt schließlich zur Ausbildung von SiO_2 -Nanopartikeln bzw. -Clustern. Ein solches Sol kann bereits ohne Weiteres auf ein Substrat appliziert werden. Durch anschließende thermische Behandlung und/oder das Abdampfen des Lösemittels kommt es zu einem Aggregieren und Kondensieren der Partikel/Cluster und zu einem Gelieren des Sols. Nach vollständiger Entfernung des Lösemittels bildet sich dann ein, in diesem Falle rein anorganisches Netzwerk (Xerogel) aus. Die resultierenden Schichten sind in der Regel hart und im Vergleich mit den organischen Polymeren deutlich weniger elastisch. Das Beispiel in Abbildung 2.2.3 kann stellvertretend für eine Vielzahl von Metalloxidsolen gesehen werden, die, dem grundsätzlichen Ansatz folgend, nach dem Sol-Gel-Verfahren hergestellt werden können. Genannt seien hier z. B. Aluminium-, Zirkonium- oder Titandioxid.

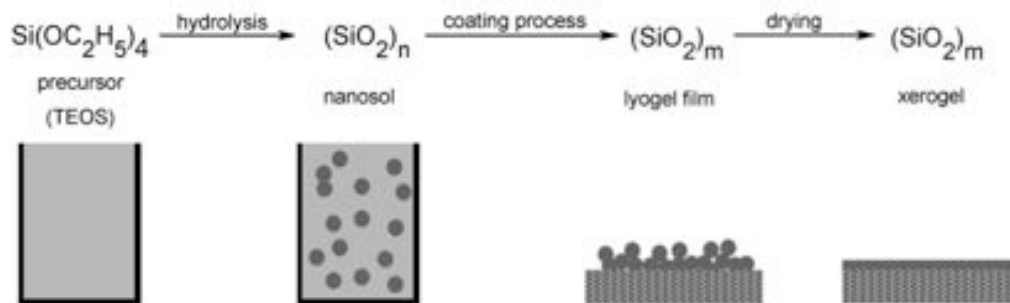


Abbildung 2.2.3. Prinzip des Auftrags einer Beschichtung nach dem Sol-Gel-Verfahren, aus [xiv].

Die Sol-Gel-Technik erlaubt es, ausgehend von dem „einfachen“ Ansatz, auch sogenannte anorganisch-organische Hybridpolymere zu synthetisieren. Diese Netzwerke besitzen sowohl organische als auch anorganische Domänen. Über eine geeignete Auswahl der Precursoren (z. B. organisch modifizierte Alkoxysilane) lassen sich mit Hilfe der Sol-Gel-Technik so Hybridpolymere herstellen, deren Eigenschaften in gewissen Grenzen „maßschneiderbar“ beschrieben werden. So können organische Anteile bspw. variiert werden, um den Materialien eine höhere Flexibilität und Elastizität zu verleihen. Organische Netzwerkkomponenten können die Grenzflächenenergie oder die Porosität der resultierenden Hybridpolymere beeinflussen oder auch z. B. der Farbgebung dienen. Über die Auswahl geeigneter anorganischer Komponenten lassen sich bspw. die Härte oder die Temperaturbeständigkeit der Schichten verbessern, Barriereigenschaften oder die Beständigkeit gegenüber Lösemitteln oder aggressiven Atmosphären können erhöht werden.

Die Modifizierung der Sole kann dabei mit einer enormen Vielzahl von Additiven erfolgen. Abbildung 2.2.4 zeigt schematisch die verschiedenen Bausteine, aus denen ein solches Hybridpolymer aufgebaut sein kann. Denkbar ist, dass diese Sole auch

zusätzlich mit als Pulver anfallenden Partikeln modifiziert werden, was in der Grafik durch das Al_2O_3 -Partikel dargestellt werden soll.

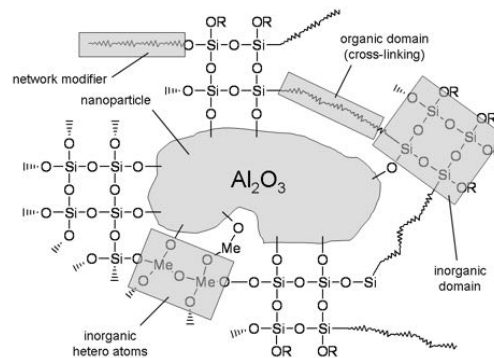


Abbildung 2.2.4. Strukturelemente von Sol-Gel-basierten Hybridpolymeren [xi].

Im Rahmen des beantragten Forschungsprojektes sollen die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Sol-Gel-Ausrüstung für die Verbesserung der Scheuer-/Abrasionsbeständigkeit für Gewebe aus unterschiedlichen Fasermaterialien untersucht werden. Dabei soll ein Schwerpunkt auf Textilien für die Bereiche Bekleidung-/Berufsbekleidung sowie Bezugstoffe (Möbel, Automotive, Personentransport) liegen. Um einen Transfer der Ergebnisse in die industrielle Anwendung leichter zu ermöglichen, sollen wie bei den Vorversuchen (vgl. Abbildung 2.2.1, rechts) primär rein wässrig angesetzte Systeme untersucht werden.

3 Zielsetzung

3.1 Forschungsziel

Ziel im Rahmen dieses Projektes war es Ausrüstungen zu entwickeln, die die Scheuer- bzw. Abrasionsbeständigkeit von textilen Flächengebilden verbessern. Die Ausrüstungen sollen auf Sol-Gel-basierten Systemen beruhen. Dabei stellen textile Oberflächen eine besondere Herausforderung dar, da neben einer ausreichenden Beständigkeit gegenüber der mechanischen Beanspruchung immer auch der Erhalt des textilen Charakters eine herausragende Rolle spielt. Dies umfasst u.a. je nach Produkt z.B. den Griff, die Steifigkeit und die offene textile Struktur. Abhängig von der Anwendung ergeben sich gleichzeitig weitere Anforderungen, die bei vielen nicht-textilen Substraten nicht bestehen, wie etwa die Notwendigkeit einer Dauerknick- und/oder einer Waschbeständigkeit.

Im Rahmen des Projekts soll versucht werden, dafür ein tieferes Verständnis zu erlangen. Dazu soll zum einen der Schädigungsmechanismus besser verstanden, zum anderen sollen die Einflüsse der Ausrüstung auf die Abrasionsbeständigkeit erkannt werden. Die erste Frage ist, ob der Schädigungsmechanismus für alle Testmethoden gleich ist, da die Scheuerbeständigkeit zum einen gegen mineralische Schleifmittel, zum anderen gegen Gewebe getestet wird. Die zweite Frage dabei ist, wie sich die Auftragsmenge und die Eigenschaften eines Beschichtungssystems auf die textilphysikalischen Eigenschaften und damit auf die Scheuerbeständigkeit auswirken.

Durch Variation der Sol-Gel Beschichtungen können:

- Steifigkeit/Flexibilität
- Glätte/Rauigkeit
- Hydrophilie/Hydrophobie
- Oberflächen Härte

Diese Veränderungen wirken sich auf die Biegesteifigkeit, Höchstzugkräfte, Verschiebefestigkeit, Einzelfadenauszugskraft, Haft- und Gleitreibung der Textilien aus. Ob diese Parameter mit der Scheuerfestigkeit korrelieren und somit helfen können bei der Optimierung der Scheuerfestigkeit, war auch eine Frage des Projektes.

Anhand entsprechender Variationen soll untersucht werden, wie sich entsprechende Eigenschaften im Zusammenspiel auf die Scheuerbeständigkeit eines textilen Flächengebildes auswirken, um so ein tieferes Verständnis zu erlangen, wie Scheuerfestausrüstungen optimiert werden können.

4 Experimentelles

Die experimentelle Durchführung ist im Schlussbericht zu finden. Der Schlussbericht ist erhältlich beim Deutschen Textilforschungszentrum Nord-West gGmbH, Adlerstraße 1, 47798 Krefeld.

5 Ergebnisse

5.1 Gewebe Auswahl

Als grundlegende Untersuchungsmaterialien wurden zwei Gewebe der WfK ausgewählt, welche aus CO und PET bestehen. Diese zwei Gewebe weisen vergleichbare textile Eigenschaften, mit einer Leinwandbindung (1/1) und einem Flächengewicht von 170 g/cm^2 , auf.

Aus den Geweben, welche vom PA zur Verfügung gestellt wurden, wurden drei ausgewählt, wobei von einem Gewebe ein Original und ein Hochveredeltes getestet wurden:

- PET/CO (50/50), Körperbindung (2/1), 175 g/cm^2 (Velener)
- CO/PA/EL (65/28/7)
 - 290 g/cm^2
 - 315 g/cm^2 Hochveredelt
- PET/PAN (40/60), 390 g/cm^2
- PET/CO (65/35), Leinwandbindung (1/1), 170 g/cm^2

Die WfK-Gewebe wurde als Standardgewebe für alle Untersuchungen im Rahmen des Projektes ausgewählt.

5.2 Analytik und Beurteilung des Schadbildes

Im ersten Schritt wurde ein Beurteilungskriterium für das Schadensbild von abrasiv geschädigten Textilien mit Hilfe der Digitalmikroskopie entwickelt. Die gängigen Methoden nach DIN EN ISO 12947-2 und -3 zeigten sich ungeeignet für das Projekt. Im Fall von DIN EN ISO 12947-2 konnte bei PET kein Fadenbruch erzielt werden. Für die DIN EN ISO 12947-3, welche über den Massenverlust die Schädigung quantifiziert, wurden Fälle beobachtet, in denen zuerst eine Gewichtszunahme stattfand, bevor sich das Gewicht verringerte.

Durch den Einsatz des im Projekte angeschafften Digitalmikroskops konnte zur Beurteilung des abrasiven Schadens eine neue Methode entwickelt werden. In Abbildung 2.1.1 ist eine typische Serie von Schadbildern für CO und PET gezeigt. Diese Bilder zeigen sehr deutlich, dass der Bereich, welcher von den gebrochenen Fasern eingenommen wird, am Anfang klein ist und mit einer zunehmenden Anzahl von

Scheuerzyklen größer wird. Dieser Bereich lässt sich als Fläche mit Hilfe der Auswertungssoftware des Digitalmikroskops beschreiben und deren Größe (in mm^2) bestimmen (s. Abbildung 5.2.1).

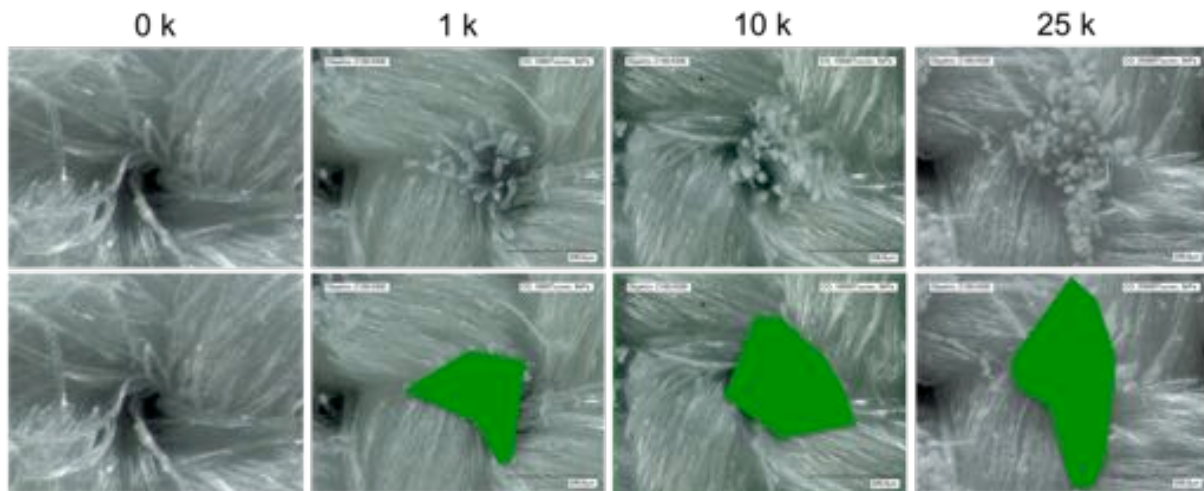


Abbildung 5.2.1. Schadensbild nach Martindale und überlagerte Flächen

5.2.1 Reproduzierbarkeit und Fehler

Zur Bestimmung der Messunsicherheit und der Streuung der Schadensbilder werden zwei unterschiedliche Scheuerzyklen für ein PET und ein CO-Gewebe gewählt. Bei diesen Scheuerzyklen wird jeweils eine Dreifachbestimmung durchgeführt. Die Schadensfläche wird an fünf Messpunkten bestimmt. Im ersten Schritt wurde die Verteilung der einzelnen Messungen als Boxplot dargestellt (Abbildung 5.2.2). Man sieht für beide Gewebe eine breite Streuung der Schadensflächen, die Standardabweichung liegt zwischen 10-20 %. In den Boxplots erkennt man, dass Ergebnisse mit einer breiten Messwertverteilung erhalten werden, jedoch die unterschiedlichen Messungen sich reproduzieren lassen. Der zusammenfassende Boxplot (Abbildung 5.2.3) zeigt, dass sich die Schadensflächen signifikant für die unterschiedlichen Scheuerzyklen unterscheiden.

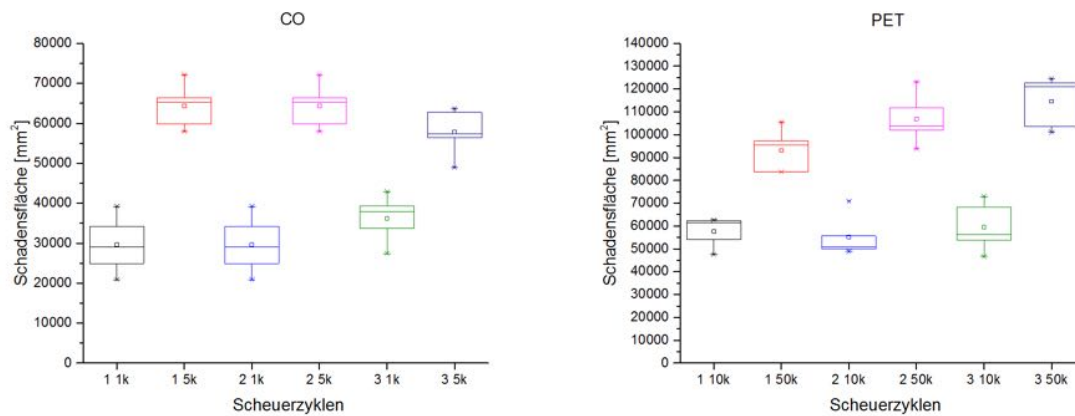


Abbildung 5.2.2. Verteilung der Messwerte über die einzelnen Proben von CO und PET, dargestellt als Boxplot

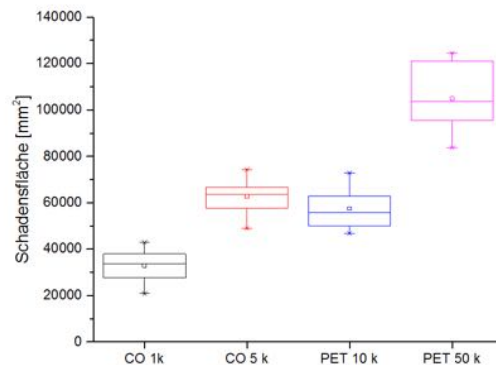


Abbildung 5.2.3. Zusammenfassender Boxplot für CO und PET

5.2.2 Vergleich der Kraftwirkung

Je nach Anwendungsbereich ist beim Martindale-Test ein unterschiedlicher Anpressdruck gefordert. Dabei werden mit einem Druck von 9 kPa Oberbekleidung und Haushaltstextilien und mit 12 kPa Berufskleidung, Polsterbezugsstoffe, Bettwäsche und technische Textilien getestet. Um einen Eindruck zu erhalten, ob sich bei Proben, welche mit verschiedenen Drücken geschleutert werden, das Schädigungsverhalten unterscheidet, wurde das CO, PET und Mischgewebe entsprechend geschleutert. Die Schadensflächen sind bei den Geweben und wirkenden Kräften ähnlich. Bei 12 kPa zeigt sich ein schnelleres Wachstum der Schadenfläche. Die Kurven bei 9 und 12 kPa haben jedoch einen ähnlichen Verlauf, was darauf schließen lässt, dass man aus dem Verlauf der einen Kurve auf den Verlauf der anderen schließen kann. In Abbildung 5.2.4 links ist das Wachstum der Schadenflächen gezeigt. Man erkennt, dass bei einem höheren Druck bei der gleichen Anzahl von Scheuerzyklen die Scha-

densfläche größer ist. Da die Kurven einen ähnlichen Verlauf aufweisen, lassen sich beide Kurven überlagern, dazu muss beim kleineren Druck die Anzahl der Scheuerzyklen mit dem Faktor 0,75 multipliziert werden, wodurch man annähernd deckungsgleiche Kurven erhält.

Aus dieser Beobachtung lässt sich folgern, dass im Rahmen des Projektes es ausreichend ist, mit nur einem Anpressdruck zu arbeiten. Da bei 12 kPa eine schnellere Schädigung erfolgt, wurde im Projekt nur mit diesem gearbeitet.

Des Weiteren lässt sich aus dem Ergebnis schließen, dass die Zyklenzahlen sich über den Faktor $\frac{3}{4}$ bzw. $\frac{4}{3}$ ineinander umrechnen lassen.

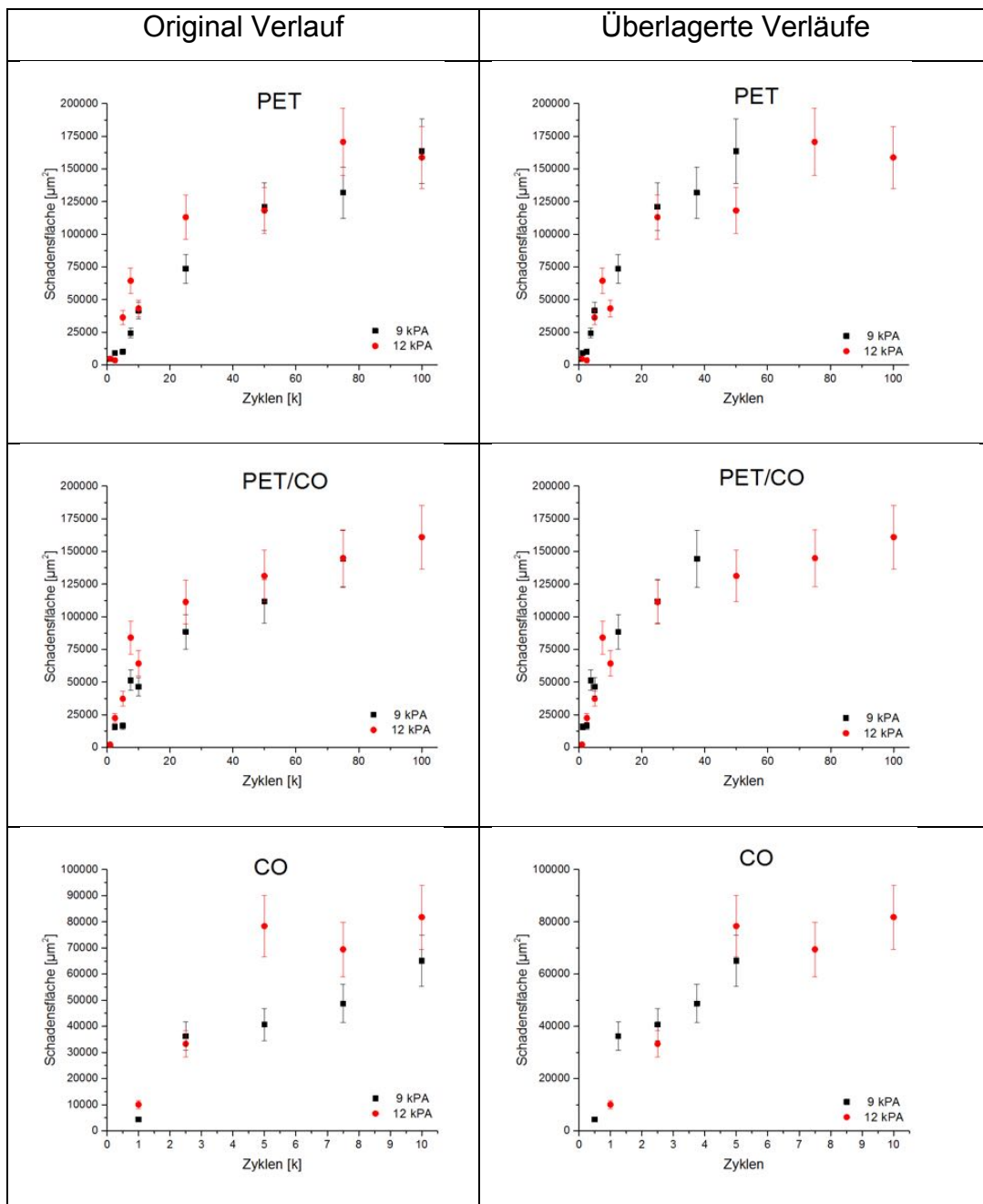


Abbildung 5.2.4. Verlauf der original Schadensflächen und der übereinander gelegten

5.2.3 Entwicklung der Schadensfläche über die Scheuerzyklen

Die Vergrößerung der Schadensfläche spiegelt die Anzahl der Faserbrüche wieder. Daraus lässt sich die Hypothese ableiten, dass die Schadensfläche einem konstanten Wachstum unterliegt, bis das Gewebe zerstört ist.

Dabei ist zu beachten, dass nach Auftreten einer offensichtlichen Beschädigung des Gewebes keine Schadensflächen mehr bestimmt werden.

Auf Basis dieser Hypothese sollte das Wachstum der Schadensfläche kontinuierlich sein, jedoch lassen sich drei Situationen für die Entwicklung der Schadensfläche beobachten (Abbildung 5.2.5):

- kontinuierliches Wachstum
- Verlauf durch eine Maximum
- Sättigung der Schadensfläche

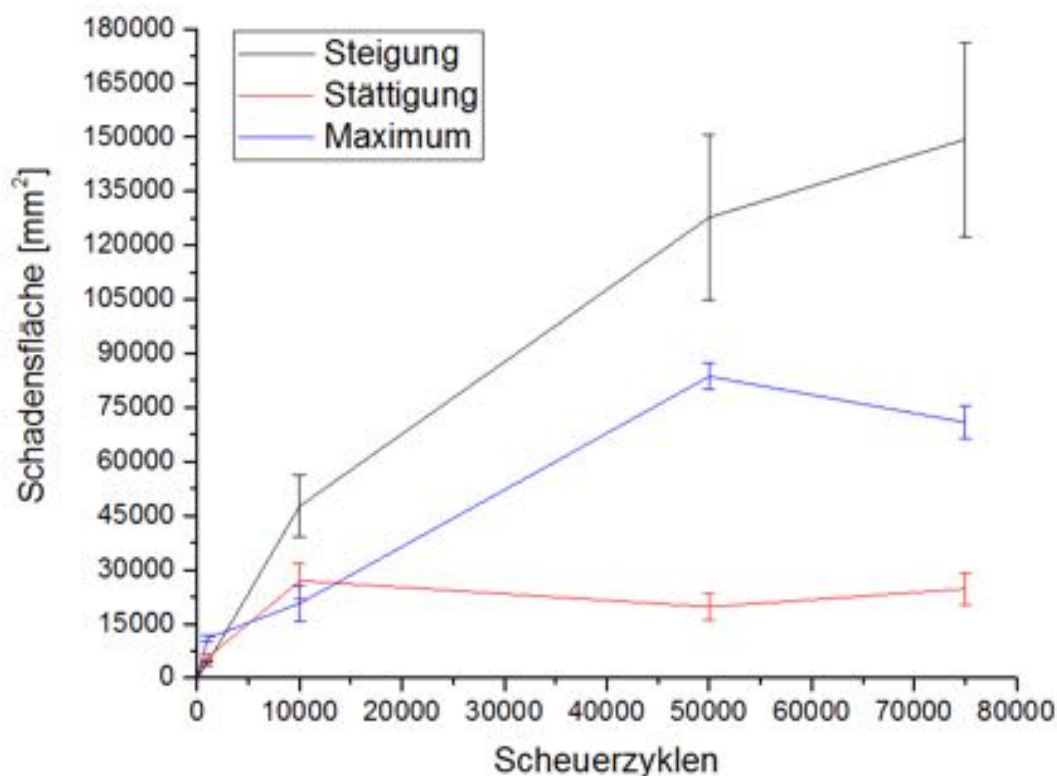


Abbildung 5.2.5. Verlaufsformen der Veränderungen der Schadensflächen

Das kontinuierliche Wachstum der Schadensfläche entspricht der Hypothese. Die anderen Beobachtungen stehen in Widerspruch dazu. Um den Verlauf durch ein

Maximum zu erklären, muss man die eigentliche Hypothese erweitern. Mit zunehmender Schädigung werden auch die gebrochenen Fasern abgetragen, wodurch die Schadensfläche kleiner wird, gleichzeitig wird auch der Fadendurchmesser geringer. Für eine vergleichende Aussage sind daher nur Schadensflächen geeignet, welche im Wachstumsbereich liegen.

Der Sättigungseffekt, so wie er im Diagramm zu sehen ist, deutet auf eine stabile Ausrüstung hin, da die Schadensfläche nicht weiter wächst und deutlich geringer ist, als bei unausgerüsteten Geweben.

Das kontinuierliche Wachstum und der Verlauf durch ein Maximum entsprechen somit den unterschiedlichen Phasen einer abrasiven Schädigung eines Textils. Nach einer Phase des Wachstums der Schadensfläche wird diese kleiner und deutet damit auf die Zerstörung des Textils hin. Da jedoch die Schadensfläche in Abhängigkeit von den Scheuerzyklen bestimmt wurde, welche in 25-50 k Schritten gewählt wurden, ist dieser Effekt nicht immer zu beobachten da die Gewebe während eines solchen Scheuerzyklusschrittes aufgescheuert wurden.

Phase 1: Faserbrüche erfolgen, dabei nimmt die Schadensfläche zu.

Phase 2: Der Abtrag der geschädigten Filamente ist schneller als das neue Fasern brechen können, wodurch sich die Schadensfläche verkleinert.

5.3 Prüfmethoden der Scheuerbeständigkeit

Für unterschiedliche Anwendungen gibt es unterschiedliche Methoden zur Messung der Scheuer/Abrasionsbeständigkeit. Diese Methoden kann man nach der Art des abrasiven Materials unterteilen:

- Gewebe gegen Gewebe
 - Martindale-Test (Wollgewebe)
 - Wyzenbeek-Test (Baumwollleinwand Gewebe)
 - Universeller Abriebtester (Baumwollleinwand Gewebe)
- Gewebe gegen mineralisches Schleifmaterial
 - Schopper-Abrasionstester bzw. Rundscheuerversuch (Schleifpapier)
 - Taber- bzw. rotierender Plattform-Abrasionstester (Schleifstein)

- Gewebe in Schleifmittelsuspension
 - Einlehner/Laufmeter-Test (Calciumcarbonat in Wasser)

Die genannten Methoden werden für unterschiedliche Anwendungsgebiete gefordert. In Deutschland ist der Martindale-Test insbesondere für Arbeitskleidung weit verbreitet, der Schopper-Test wird z.B. für Schutzwesten für Bodenpersonal auf Flugplätzen gefordert und der Laufmeter-Test für Förderbänder.

Bei diesen drei Methoden werden ganz unterschiedliche Bedingungen für die abrasive Schädigung generiert. Bei Geweben gegen Gewebe handelt es sich um eine im Vergleich zu Gewebe gegen Schleifmittel "sanfte" Schädigung, da das Scheuergewebe noch eine relativ weiche Oberfläche im Gegensatz zu einem harten mineralischen Schleifmaterial aufweist. Dies spiegelt sich auch in der geforderten Zykluszahl bei einem Rundscheuertest im Vergleich zu einem Martindale-Test wieder: beim Rundscheuertest erfolgt die Materialschädigung deutlich schneller. Die Frage, die sich aus diesen Testmethoden stellt: Erfolgt die Schädigung des Gewebes bei den unterschiedlichen Methoden auf die gleiche Art und Weise oder gibt es dabei signifikante Unterschiede?

Erfolgt die Schädigung nach demselben Mechanismus bei unterschiedlichen Testmethoden, so kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse unabhängig von der Testmethode sind. Für die Ausrüstung bedeutet das, dass eine Ausrüstung bei allen Methoden erfolgreich ist. Sollte sich jedoch die Schädigungsmechanismen unterscheiden, so kann davon ausgegangen werden, dass bei unterschiedlichen abrasiven Schädigungen/Testmethoden unterschiedliche Ausrüstungen notwendig sind, um bei dieser Testmethode bestand zu haben.

5.3.1 Vergleich der Schädigung

Für einen Vergleich der Schädigung und einer Ableitung der Schädigungsmechanismen wird auf REM und Digitalmikroskopie zurückgegriffen. Die Digitalmikroskopie ermöglicht es, einen Eindruck von der Probenoberfläche zu erhalten, bei der höheren Auflösung des REM ist es möglich, die Faser im Detail zu erkennen, wodurch die Art der Beschädigung deutlicher wird.

Die Schadensbilder beim Vergleich von Martindale- zu Schopper- zu Laufmetertest zeigen deutliche Unterschiede für ein Textil (Abbildung 5.3.1 und Abbildung 5.3.2). Der Vergleich des selben Testes bei unterschiedlichen Geweben wie PET und CO zeigen ein ähnliches Schadensbild. Der Unterschied im Schadensbild von CO zu

PET ist darüber zu erklären, dass es sich bei CO um eine Naturfaser handelt, welche auch Mikrofibrillen aufweist. Bei der CO-Faser tritt als Schädigungseffekt eine Fibrillierung der Faser auf.

Beim Martindale-Test kann man erkennen, dass CO stark fibrilliert (Abbildung 5.3.1), zum einen an den Faserbrüchen, zum andern fibrilliert auch die Faseroberfläche. PET zeigt eher ein Ausfransen an den Faserbrüchen, da keine Fibrillenstrukturen vorhanden sind wie bei CO, daher sind auch keine Schädigungen der Faseroberfläche zu beobachten. Die Fibrillierung und das Ausfransen deuten eher auf eine Schädigung durch mechanischen Stress hin als auf eine Schädigung durch einen abrasiven Effekt.

Beim Shopper- und Laufmetertest erkennt man, dass die Faserenden eher gleichmäßig und rund sind, ähnlich eines Schnittes. Die Faseroberfläche zeigt an den Rändern ein scharfkantiges Ausfransen. Bei der Baumwolle geht diese im Laufmeter-Test in ein Verschmieren über. Bei PET ähneln sich die Schadensbilder zwischen Laufmeter- und Schopper-Test deutlich mehr (Abbildung 5.3.2).

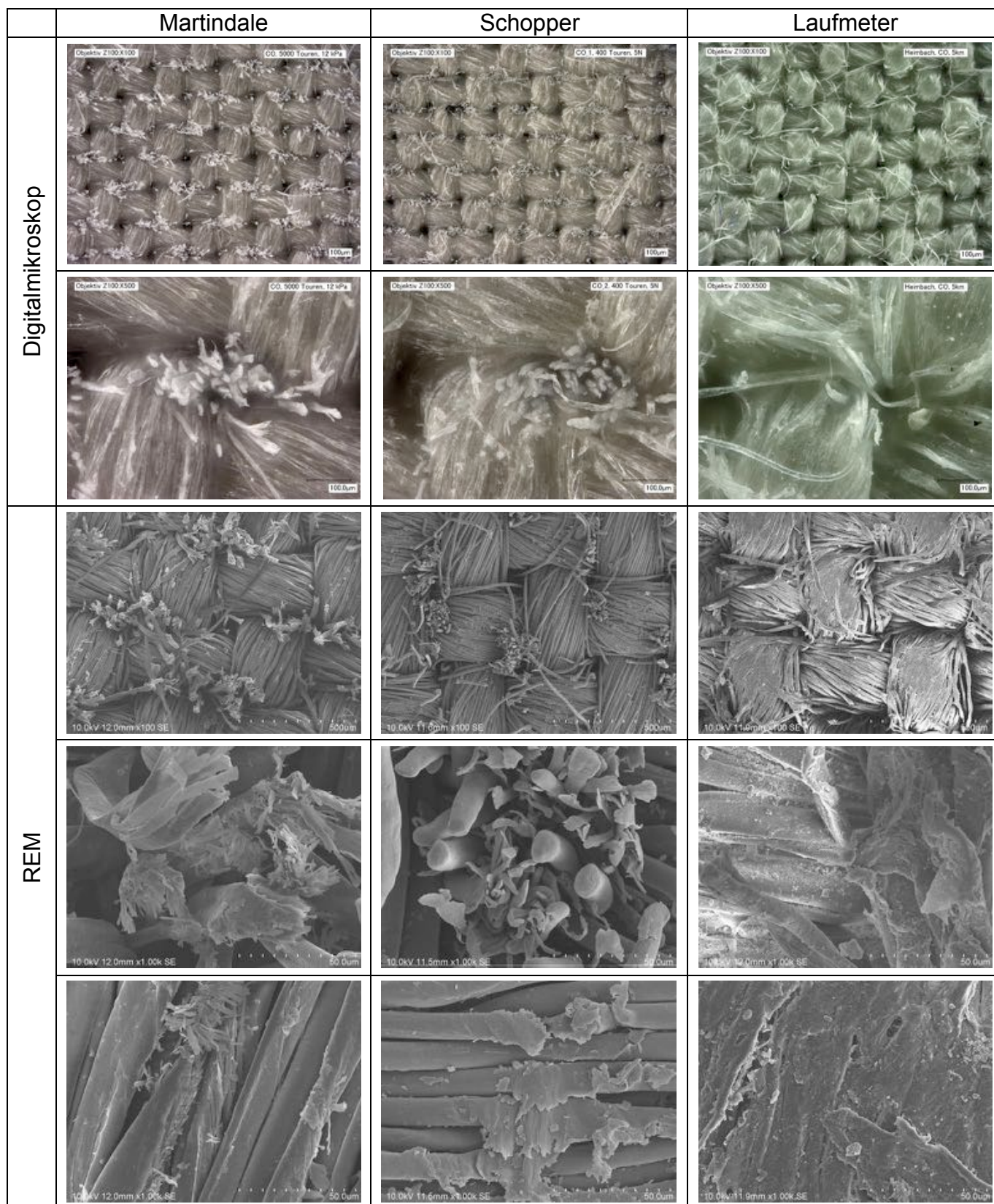


Abbildung 5.3.1. Vergleich der Schadensbilder von Baumwolle

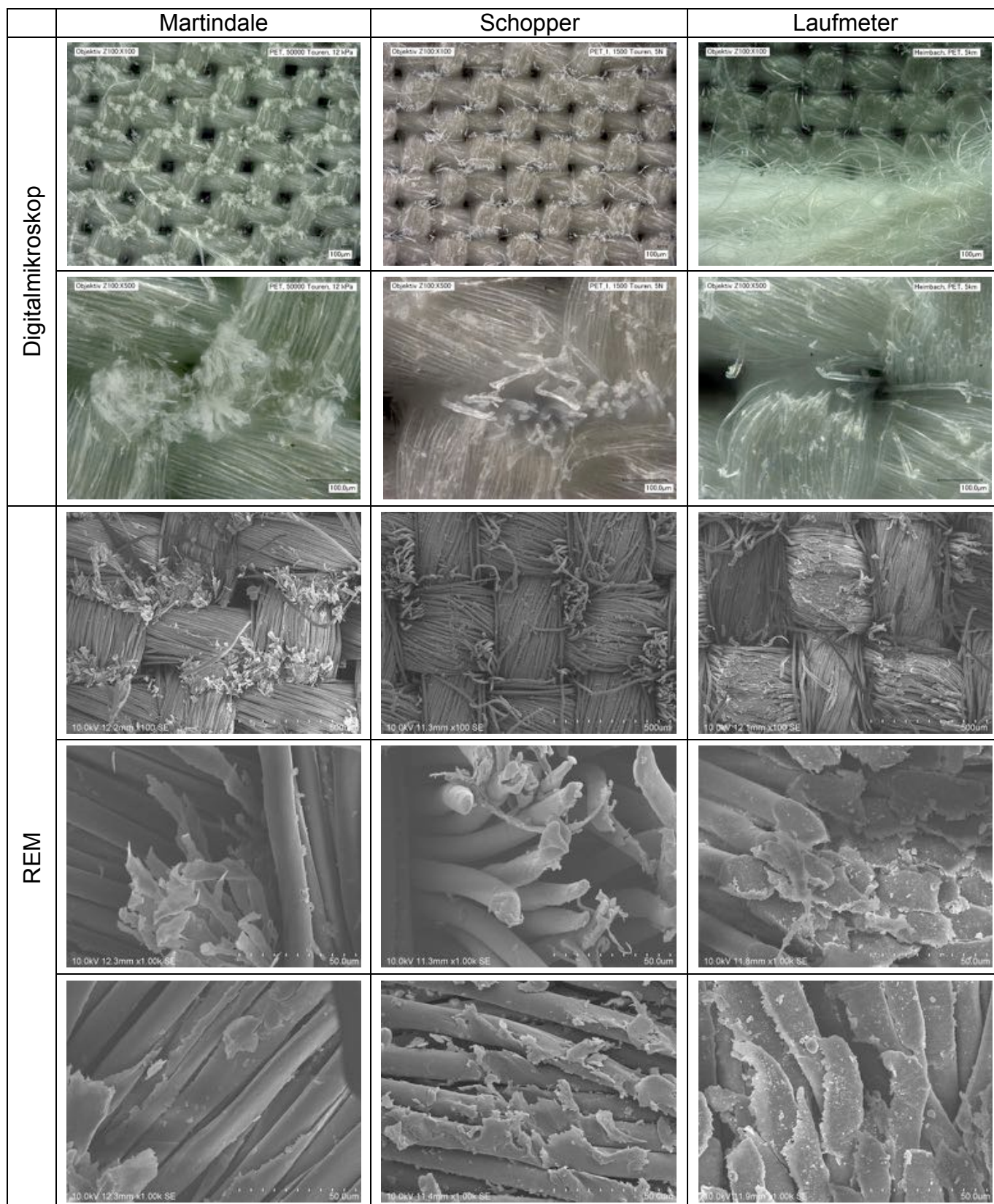


Abbildung 5.3.2. Vergleich der Schadensbilder von PET

Aus den Beobachtungen lässt sich schließen, dass man beim Scheuern von Gewebe gegen Gewebe und bei Gewebe gegen ein mineralisches Schleifmittel einen unterschiedlichen Schädigungsmechanismus findet.

Beim Scheuern von Gewebe gegen Gewebe findet man keine Anzeichen für einen schleifenden Materialabtrag, sondern die Fasern zerbrechen/zerreißen eher, was sich auf Ermüdungsbrüche/risse durch die mechanische Belastung zurückführen lässt. In Abbildung 5.3.3 ist der Mechanismus schematisch zusammen gefasst.

Durch die Reibung über das Gewebe bewegen sich die Fäden im Gewebe in der Bewegungsrichtung (Abbildung 5.3.3.a). Dabei erfahren die liegenden Fasern im Faden die höchste Belastung. Beim Reiben über die Fadenoberfläche werden die Fasern erst in die eine und dann wieder in die Gegenrichtung ausgelenkt (Abbildung 5.3.3.b) Je mehr Scheuerzyklen über das Gewebe laufen, desto stärker werden die Fasern ausgelenkt, da sie den Halt im Faden verlieren, und werden dabei auch immer mehr auf Spannung gezogen. Durch die Bewegung und den Zug zerreißen die Fasern.

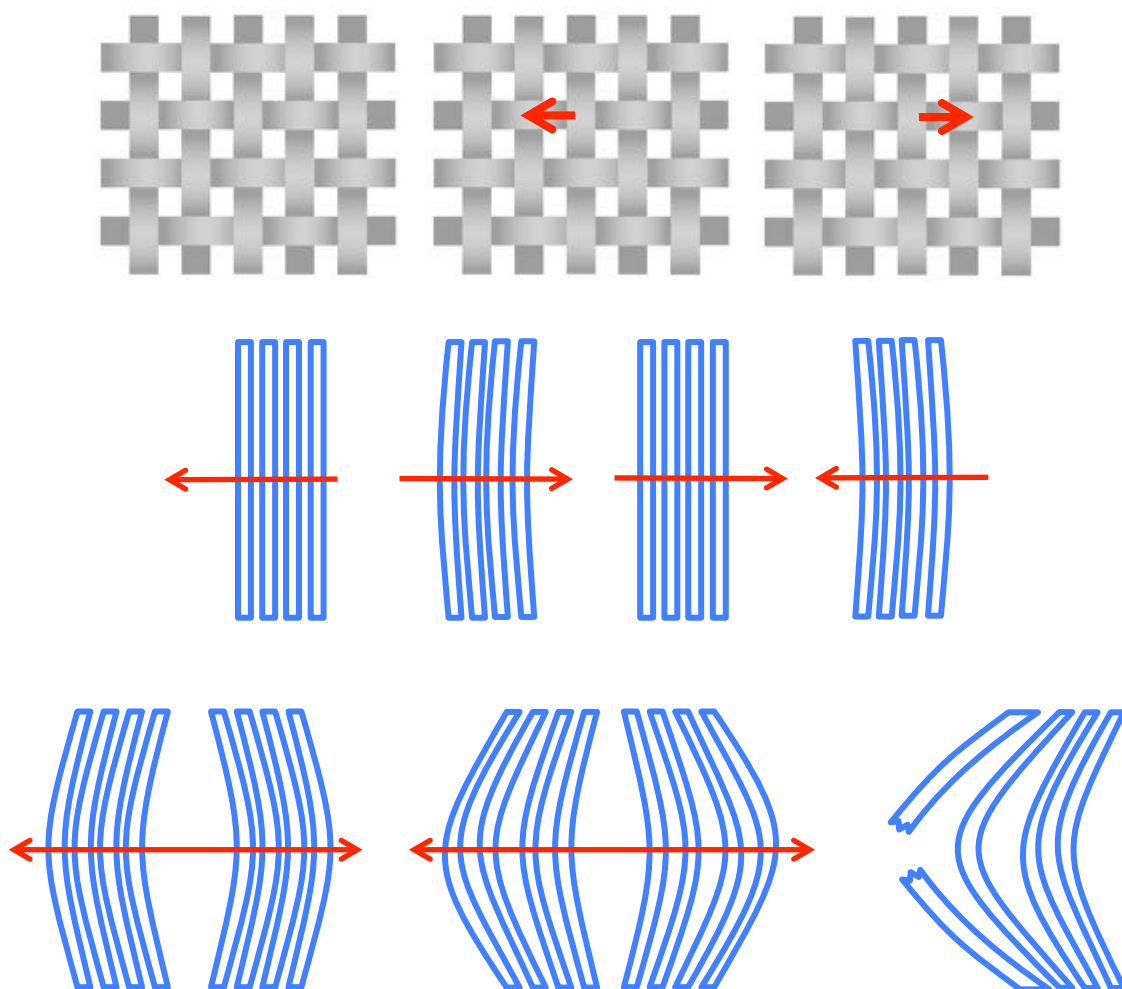


Abbildung 5.3.3. Mechanische Schädigung des Gewebes beim Martindale-Test. a. Blick auf das Gewebe, b. Blick auf den Faden, und wie die Fasern beim Reiben ausgelenkt werden, c. Ver-

größerung der Auslenkung der Fasern beim wiederholten reiben, bis die Fasern brechen/reißen.

Im Fall des Laufmeter- und des Schopper-Tests wird der Faden durchtrennt und abgetragen. Im Fall des Laufmeter-Tests wird das Gewebe deutlich stärker geschädigt und dabei geglättet, dabei wird der Faden oberflächlich deutlich abgetragen. Im Fall des Shopper-Tests sind deutliche Rillen auf dem Gewebe zu erkennen, wo das Schleifmittel die Fasern zertrennt/zerschnitten hat.

5.3.2 Gewebeschädigung durch Wäschen

Im Rahmen des Projektes sollen auch waschbeständige Ausrüstungen hergestellt werden, jedoch stellt die Wäsche für Textilien auch eine mechanische Belastung da. Um den Effekt der Wäsche zu verstehen, wurden die Textilien vor den Scheuerversuchen fünf und zehn Mal im Linitester mit zehn Stahlkugeln gewaschen und danach per Martindale-Test gescheuert. Nach der Wäsche waren keine signifikanten Veränderung der Gewebe zu beobachten (s. Abbildung 5.3.4).

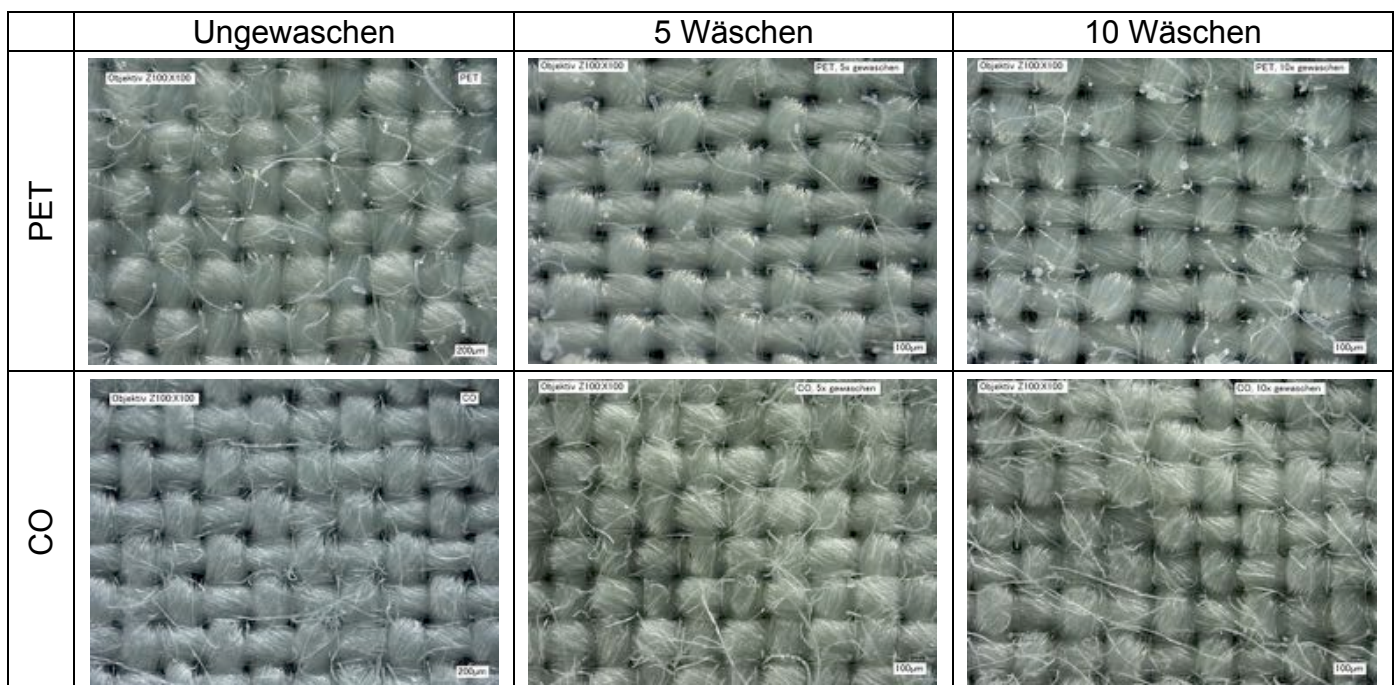


Abbildung 5.3.4. PET und CO-Geweben vor und nach Wäsche

Die Scheuerversuche zeigten, dass bei PET nach der Wäsche keine Veränderung der Scheuerbeständigkeit zu erkennen ist, bei CO stellt man fest, dass die Schadensfläche nach der Wäsche größer wird (s. Abbildung 5.3.5).

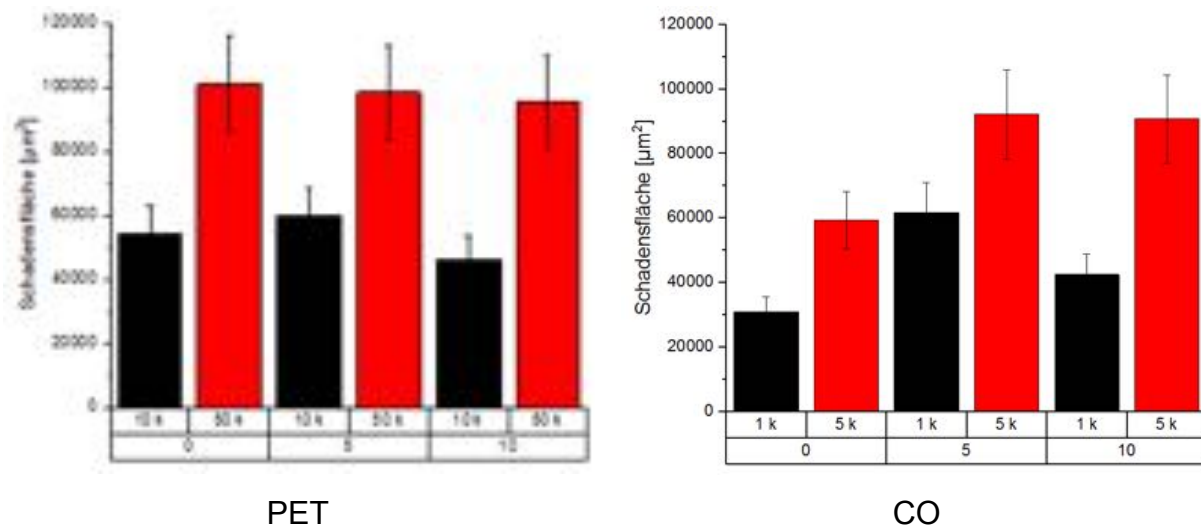


Abbildung 5.3.5. Veränderung der Schadensfläche von CO- und PET-Gewebe nach 5 und 10 Wäschen im Vergleich zum ungewaschenen Gewebe

5.4 Einfluss der Ausrüstung

Sol-Gel-basierte Ausrüstungen stellen eine sehr flexible und vielseitige Möglichkeit zum Erzielen von Beschichtungen mit unterschiedlichen Eigenschaften von Textilien dar. Zum einen lässt sich die Auflage relativ einfach über den Feststoffanteil der Beschichtungslösung steuern. Die Auflage hat einen starken Einfluss auf die Flexibilität und Haptik des Textils. Als weitere Steuerungsparameter, welche deutlich mehr Variationsmöglichkeiten eröffnen, müssen die Additive und Seitengruppen beim Sol-Gel Verfahren betrachtet werden. Durch Additive in einem Sol-Gel, z.B. durch Nanopartikel, kann man eine Oberflächenstrukturierung erzeugen und somit die Rauigkeit des Textils erhöhen. Über die Art der Seitenkette kann man die Polarität der Oberfläche als auch die Gleiteigenschaften der Materialien beeinflussen. Lange Alkylketten reduzieren die Polarität und verbessern die Gleiteigenschaften. Im Fall von hydrophilen Seitenketten wird die Polarität erhöht. Über diese Parameter kann man die Funktionalität der Oberflächen stark beeinflussen, daher sollen unterschiedliche Seitengruppen auf ihren Einfluss hin überprüft werden.

Im Rahmen des Projekts sollen folgende Thesen untersucht werden:

- Harte anorganische Dünnschichten führen zu einer deutlichen Verbesserung der Abrasionsbeständigkeit

- Organisch-anorganische-Hybridpolymere sind deutlich flexibler als reine Anorganische Sole, was einen positiven Effekt auf die Abrasionsbeständigkeit hat
- Niedrige energetische Oberflächen verbessern die Beständigkeit
- Weichgriffadditive bzw. analoge Sol-Gel-Ausrüstungen verbessern die Beständigkeit
- Nanopartikel als Additive haben einen positiven Effekt auf die Abrasionsbeständigkeit

5.4.1 Vergleich unterschiedlicher Gewebe Teil 1 - Lieferzustand

Im ersten Teil des Vergleichs von unterschiedlichen Geweben lag der Focus auf der prinzipiellen Beständigkeit der Materialien. Dazu wurden diese Gewebe 1, 10, 25 und 50 Scheuerzyklen mit einem Druck von 12 kPa ausgesetzt.

Beim Vergleich der unterschiedlichen Gewebe aus unterschiedlichen Materialien zeigt sich, dass der Schadensverlauf überall ähnlich ist. Der Vergleich der beiden Mischgewebe aus PET/CO zeigt, dass die Bindung auf die Beständigkeit keinen erkennbaren Einfluss hat.

Im Fall des PET/PAN Gewebes ist zu erkennen, dass am aufliegende Muster eine deutlichen optische Veränderung des Gewebes erfolgt, jedoch erkennt man nach 25 k Scheuerzyklen noch keine Schädigung in Form von Lochbildung oder eines gerissenen Fadens. Das Gewebe übersteht jedoch keine 50 k Scheuerzyklen. Aufgrund der optischen Beeinträchtigung des Gewebes (Abbildung 5.4.1), welche nicht über die Schadensfläche zu quantifizieren ist, wurde dieses Gewebe für weitere Versuche nicht mehr verwendet.

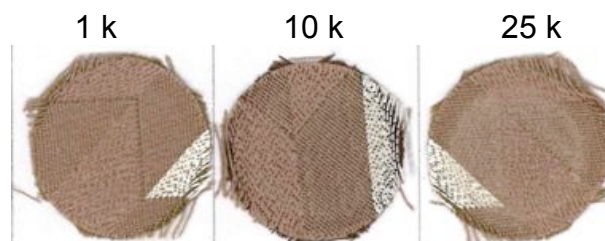


Abbildung 5.4.1. PET/PAN Gewebe nach 1, 10 und 25 k Scheuerzyklen. Man erkennt deutlich die optische Beeinträchtigung

1 k 10 k 25 k

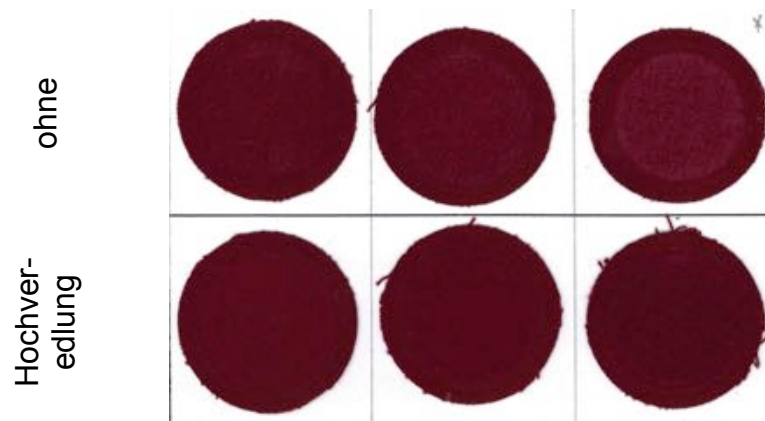


Abbildung 5.4.2. CO/PA-Gewebe mit und ohne Hochveredlung nach 1, 10 und 25 k Scheuerzyklen, das Gewebe ohne Hochveredlung ist deutlich heller nach dem Scheuern

Im Fall des CO/PA Gewebes reduziert die Hochveredlung die Schadensfläche bis zu einem Test nach 25 k Scheuerzyklen, bei 50 k Scheuerzyklen sind die Schadensflächen jedoch gleich groß. Beim nicht veredelten Gewebe stellt man gleichzeitig eine Aufhellung der Oberfläche im Vergleich zum hochveredelten Gewebe fest (s. Abbildung 5.4.2)

Grundlegend lässt sich auch diesen Ergebnissen schließen, dass die Materialkombination die Scheuerbeständigkeit bestimmt. Dabei erhöhen PET und PA die Scheuerbeständigkeit von CO in der Kombination deutlich.

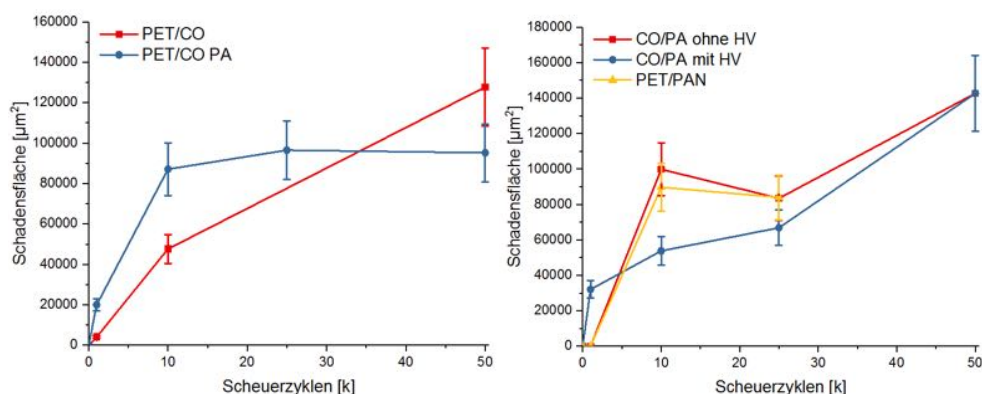


Abbildung 5.4.3. Verlauf der Schadensfläche der unterschiedlichen Gewebe, links: Vergleich der zwei PET/CO Mischgewebe, rechts: Vergleich von CO/PA- mit/ohne Hochveredlung und PET/PAN-Gewebe

Aus den Schadensflächenverläufen lässt sich ableiten, dass es zwei Extreme bei den Geweben im Verhalten gibt: zum einen CO, zum anderen PET. Bei kunstfaserhaltigen Geweben wird die Scheuerbeständigkeit durch die Kunstfaser bestimmt. Lässt sich dies auch für die unterschiedlichen Ausrüstungen zeigen, kann die Anzahl der Test-Gewebe deutlich verkleinert werden, da die Ergebnisse von einem Gewebe auf ein anderes übertragbar sind.

Um diese Hypothese zu untermauern, werden diese Gewebe auch für die ersten Beschichtungen mit harten anorganischen Dünnschichten und organischen Hybridpolymeren untersucht.

5.4.2 Einfluss harter anorganischer Dünnschichten

Als harte anorganische Dünnschichten wurde der Einfluss von Sol-Gel-Schichten auf Basis von Siliziumoxid und Aluminiumoxid auf die Scheuerbeständigkeit bei einer gleichzeitigen Variation der Höhe der Auflage untersucht. Die Applikation fand zum einen auf drei unterschiedlichen Testgeweben der WfK statt. Bei höheren Auflagen findet gleichzeitig eine Versteifung des Gewebes statt. Diese spiegelt sich in einer erhöhten Biegefestigkeit wieder. Eine Korrelation der Auflage mit den Höchstzugkräften ist nicht zu finden (Abbildung 5.4.4). Als weitere Korrelationsparameter wurde versucht, die Haft bzw. Gleitreibung der Gewebe gegen Stahl, Gummi und Scheuergewebe zu bestimmen, bei diesen Versuchen zeigte sich jedoch, dass mit den am DTNW möglichen Mitteln keine reproduzierbaren Werte erzielt werden konnten.

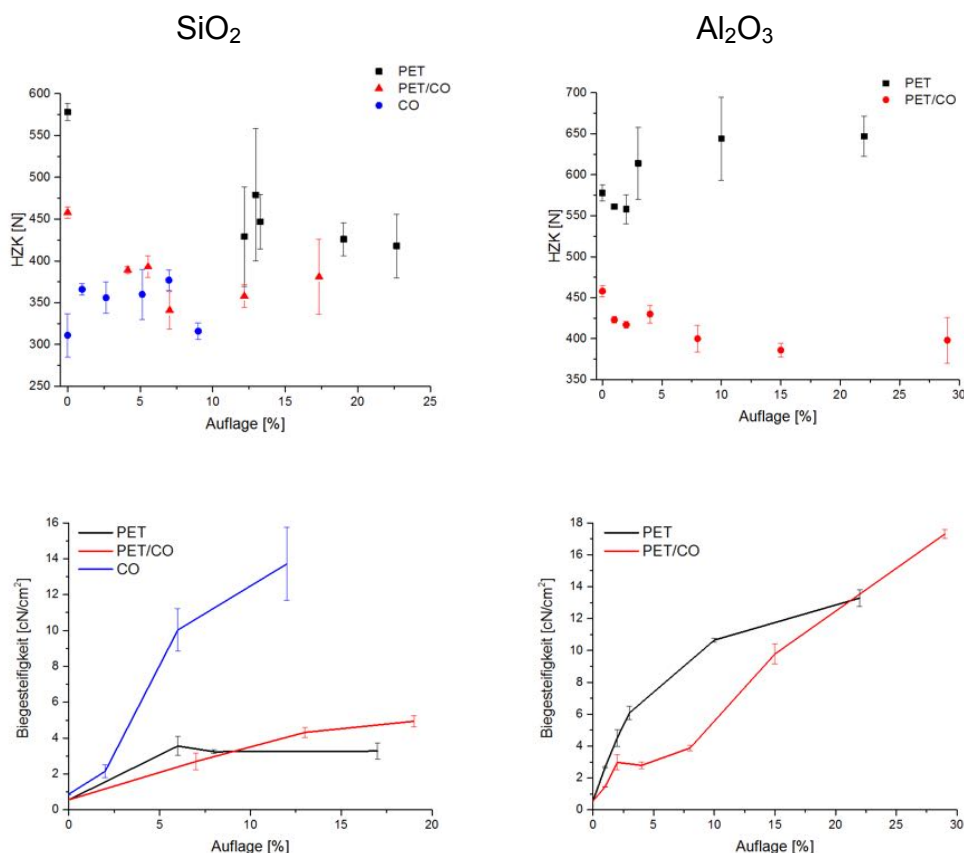


Abbildung 5.4.4. Auflagen in Abhängigkeit der Biegefestigkeiten und der Höchstzugkraft eines Gewebes

Als Testreihe wurden drei Testgewebe aus CO, CO/PET und PET der WfK verwendet und mit den beiden Sol-Gel-Systemen ausgerüstet. Im Fall der Al_2O_3 -Ausrüstung konnte diese nicht auf CO realisiert werden, da diese Ausrüstung das CO-Gewebe stark schädigt.

Auf den beiden PET-haltigen Geweben konnte durch beide Ausrüstungen mit mindestens 10 % Auflage eine verbesserte Scheuerbeständig erhalten werden (Abbildung 5.4.6). Diese Scheuerbeständigkeit zeigt sich im Besonderen dadurch, dass das Gewebe bei höheren Scheuerzyklen eine deutlich kleinere Schadensfläche als die unbehandelten Gewebe ausweist. Jedoch zeigte sich beim Mischgewebe und kleiner Auflage (1-9 %) eine Verschlechterung der Scheuerbeständigkeit im Vergleich zum unausgerüsteten Gewebe (Abbildung 5.4.5).

Bei CO kann für die SiO_2 Ausrüstung keine signifikante Veränderung der Beständigkeit festgestellt werden (Abbildung 5.4.6).

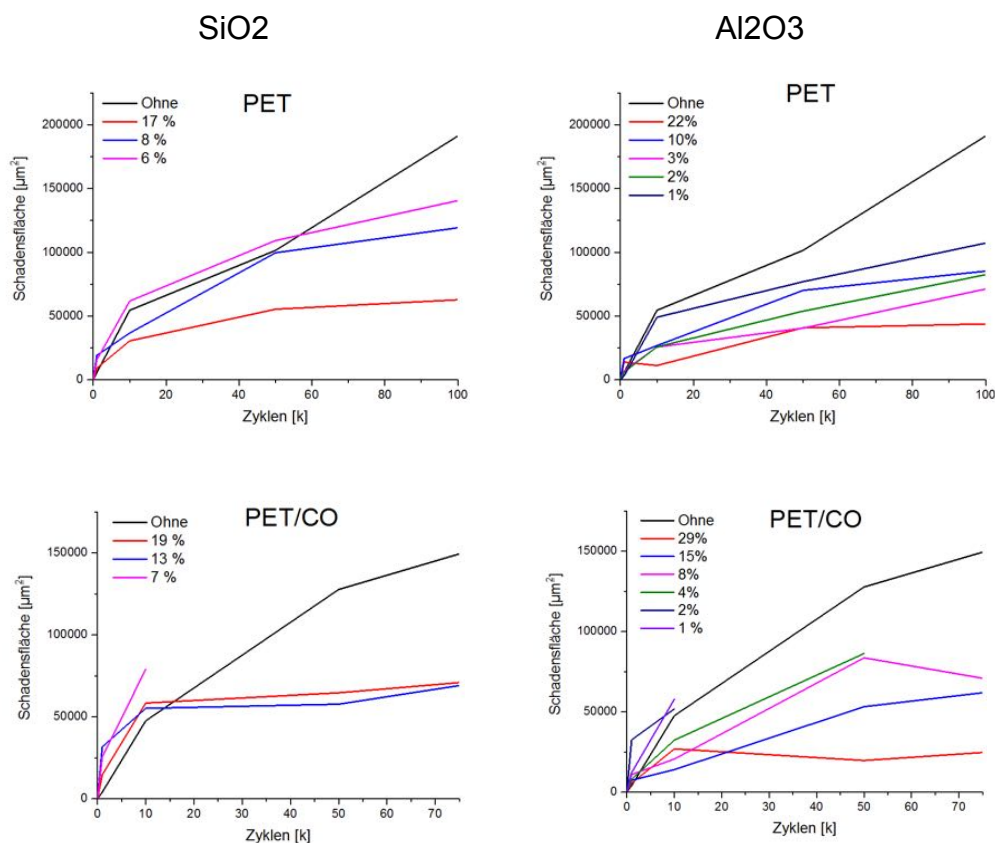


Abbildung 5.4.5. Entwicklung der Schadensfläche auf PET und PET/CO mit einer TEOS- und Aluminiumoxidausrüstung

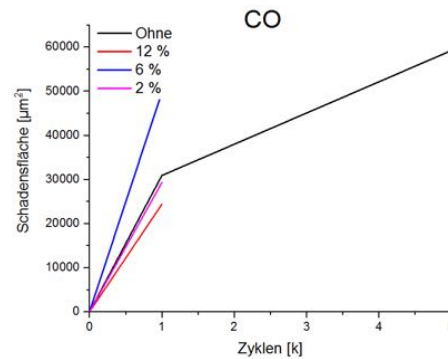


Abbildung 5.4.6. Entwicklung der Schadensfläche auf CO mit einer TEOS-Ausrüstung

5.4.3 Organisch-anorganische Hybridpolymere zur Kontrolle der Flexibilität und Härte der Ausrüstung

Die Flexibilität der Ausrüstung kann durch die Verwendung von Organosilanen oder durch die Kombination eines Sol-Gel-Precursors wie TEOS mit einem Organosilan verändert werden. Zwei einfache Ansätze, mit denen die Flexibilität durch die Verwendung eines Organisch-Anorganischen-Hybridpolymeres erreicht werden kann, ist die Kombination von TEOS mit einem epoxidischen Silan (GPTMS) oder durch die Applikation des reinen GPTMS auf Textilien.

Eine weitere Möglichkeit stellt die photochemische Vernetzung von Beschichtungen dar, wodurch eine Versteifung und feste Ausrüstung auf der Oberfläche erzeugt werden kann. Als Ausgangsverbindung eignet sich dafür ein Methacrylat-haltiges Silan.

Als weitere Testmaterialien wurden uns zwei kommerzielle Sol-Gel Produkte von PA-Mitgliedern zur Verfügung gestellt. Bei beiden handelt es sich um organisch-anorganische Hybridpolymere, wobei eins ausschließlich auf Silanen (Sil) basiert und das andere in Silicium/Zirkon-Hybridpolymer (Si/Zr) ist.

5.4.3.1 Organisch-anorganische-Hybridpolymere auf Basis von GPTMS

Durch die Kombination von TEOS mit GPTMS kann man die Härte und Flexibilität der Ausrüstung variieren. Reine TEOS Ausrüstungen sind relativ hart und starr. Mit einem höheren GPTMS-Anteil wird diese Ausrüstung weicher und flexibler.

Im Fall von PET und PET/CO wiederholt sich der Trend für die GPTMS (s. Abbildung 5.4.7) und GTPMS/TEOS Ausrüstung, dass eine hohe Auflage dazu beiträgt, die Beschädigung gering zu halten. Beim CO zeigt sich, dass die flexiblere Ausrüstung besser wirkt als reine anorganische Beschichtungen bzw. TEOS/GPTMS Mischun-

gen. Neben dieser Beobachtung kann man bei CO auch feststellen, dass dort kleine Auflagen effektiver sind als hohe (Abbildung 5.4.7).

Für die kommerziellen Sol-Gel-Ausrüstungen zeigt sich für PET und PET/CO derselbe Trend wie bei der GPTMS- und GPTMS/TEOS-Ausrüstung für die Auflage. Bei CO führt die Si/Zr-Ausrüstung zu einer Verschlechterung. Die Sil-Ausrüstung zeigt nur bei hohen Auflagen eine kleinere Schadensfläche. Der Vergleich von Sil- und Si/Zr-Ausrüstung auf PET zeigt das die Si/Zr-Ausrüstung effektiver ist (Abbildung 5.4.8).

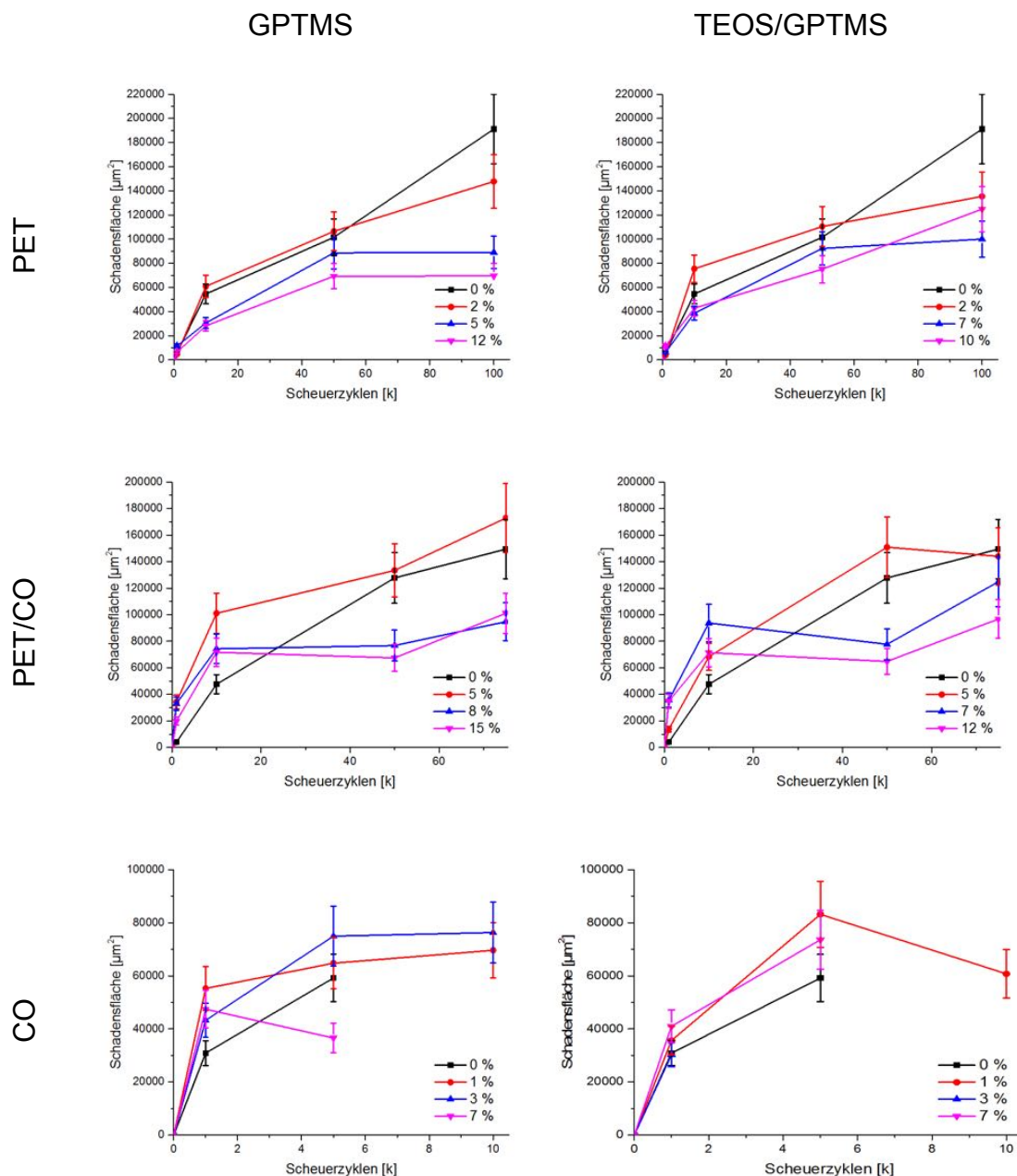


Abbildung 5.4.7. Verlauf der Schadensflächen für Ausrüstung auf Basis von GPTMS auf PET-, PET/CO- und CO Gewebe mit unterschiedlichen Auflagen

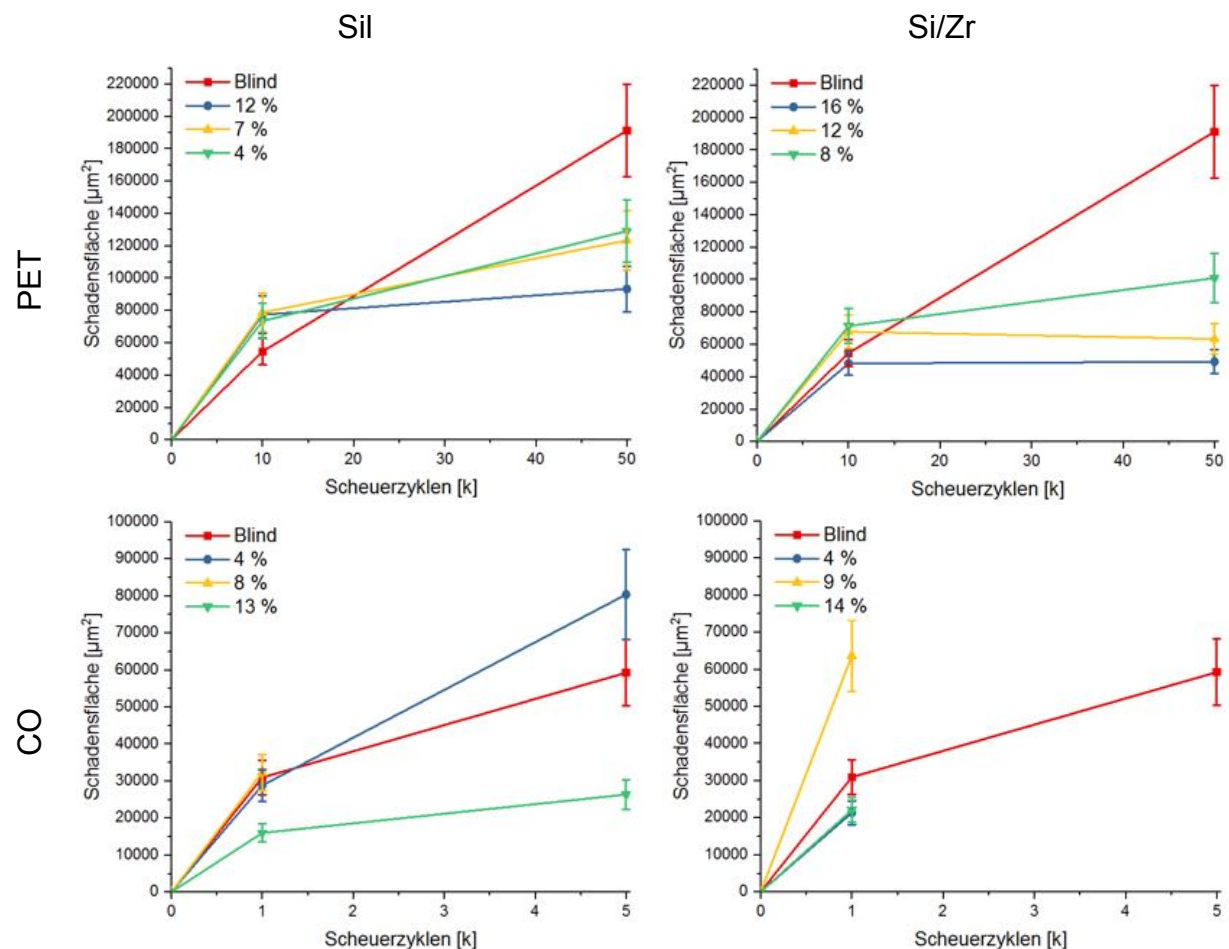


Abbildung 5.4.8. Verlauf der Schadensflächen für kommerzielle Sol-Gel Ausrüstungen mit unterschiedlichen Auflagen auf PET- und CO-Geweben

5.4.3.2 Flexibilität durch Additive

Durch die Kombination eines GPTMS-haltigen Sol-Gels mit Bisphenol-A (BPA) oder Polyethylenglykol (PEG) kann man die Flexibilität der Ausrüstung erhöhen. Der Einsatz von BPA führt eher zu einer Versteifung der Textilien, bei PEG ist die Beschichtung danach eher flexibler. Um diesen Einfluss zu untersuchen, wurde BPA mit einem GPTMS/TEOS-Sol kombiniert und PEG mit einem reinen GPTMS-Sol. Dabei wurde das Epoxid zur OH-Gruppe im Verhältnis von 1: 0,5, 1:1 und 1:2 variiert.

Im ersten Schritt wurden Textilien mit ca. 8 Gew% der beiden Kombinationen in unterschiedlichen Epoxid-OH-Gruppen Verhältnissen ausgerüstet. Dabei erkennt man, dass die Kombination auf PET mit BPA in allen Verhältnissen und mit PEG im Verhältnis 1:1 und 1:2 eine Verbesserung der Scheuerbeständigkeit erbringt als die entsprechenden Sole ohne das Additiv. Im Fall von CO führt die Ausrüstung mit BPA im Verhältnis 1:2 und 1:0,5 zu einer Verbesserung und im Fall von PEG zu keiner (s. Abbildung 5.4.9). Da beim BPA und PEG in beiden Fällen ein Verhältnis von 1:1 ef-

fektiv erscheint, wurde für dieses Verhältnis auch eine Variation der Auflage untersucht.

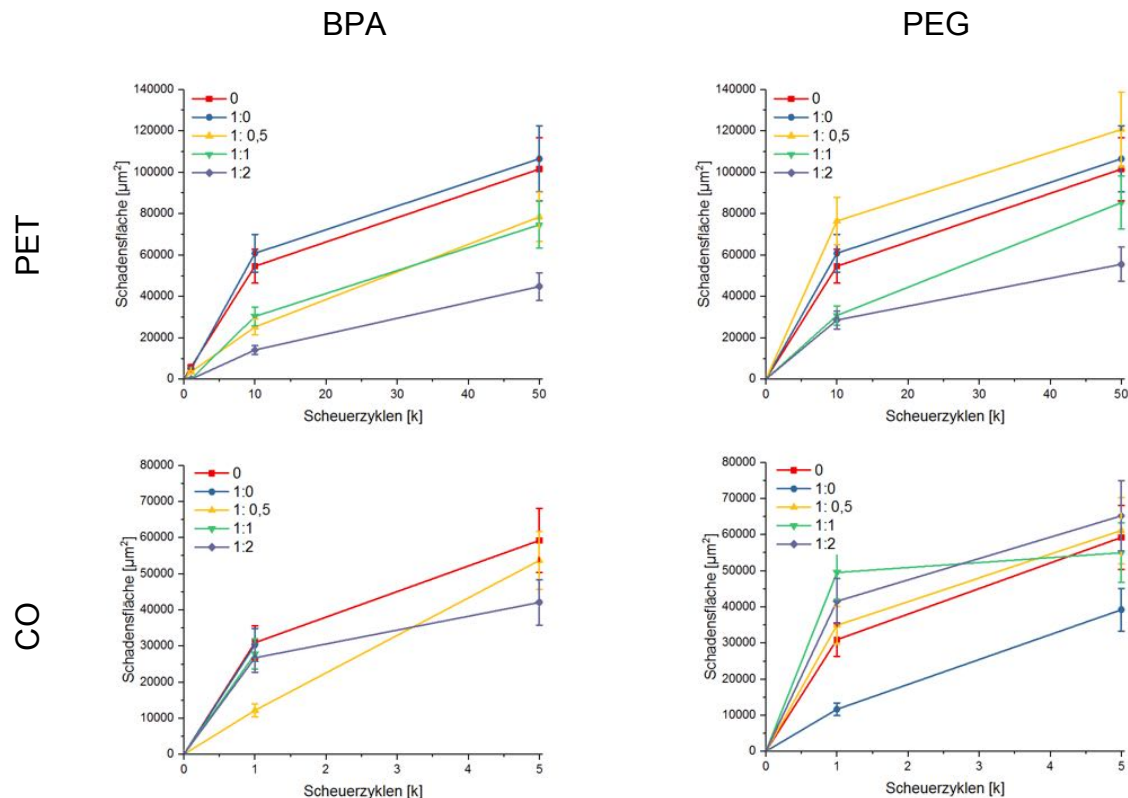


Abbildung 5.4.9. PET und CO mit BPA/GPTMS/TEOS und PEG/GPTMS Ausrüstung mit unterschiedlichen Epoxid-OH-Gruppen Verhältnissen

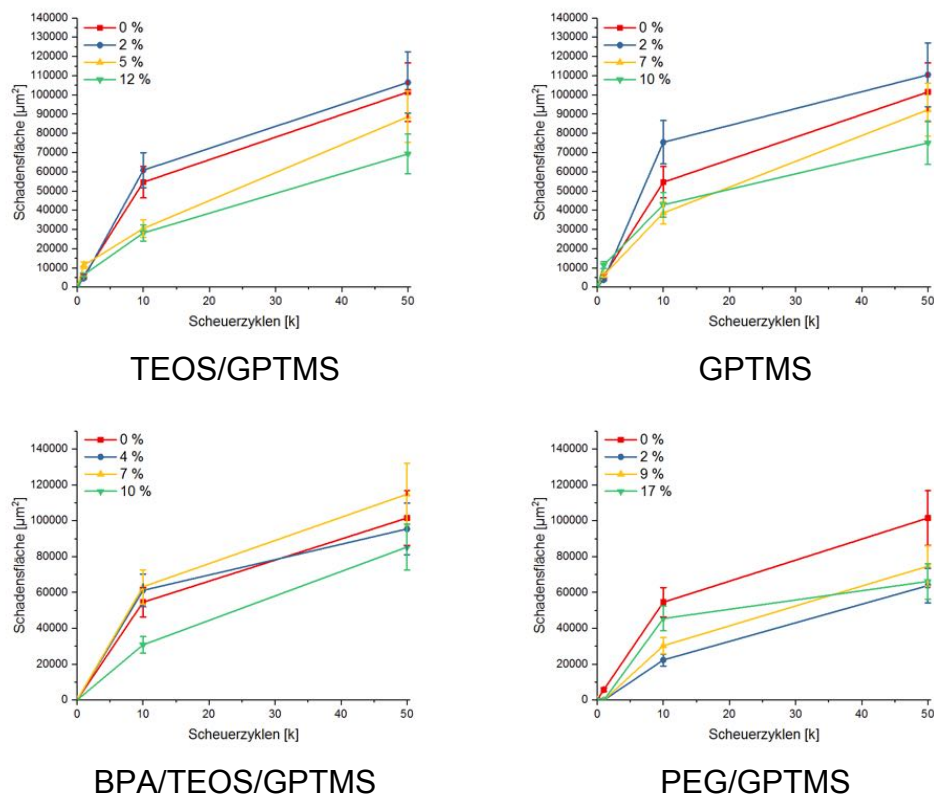


Abbildung 5.4.10. Vergleich der Schadensflächen bei PET mit einer TEOS/GPTMS bzw. BPA/TEOS/GPTMS und GPTMS bzw. PEG/GPTMS Ausrüstung

Die Variation der Auflage zeigt für BPA dass bekannte Muster für PET, dass eine hohe Auflage deutlich effektiver die Scheuerbeständigkeit verbessert als eine niedrige. Im Fall von PEG als Additiv wirkt die geringste Auflage am effektivsten (s. Abbildung 5.4.10). Im Fall von CO erkennt man nur bei einer hohen Auflage eine verringerte Schadensfläche. Die Kombination mit PEG führt eher zu einer Verschlechterung.

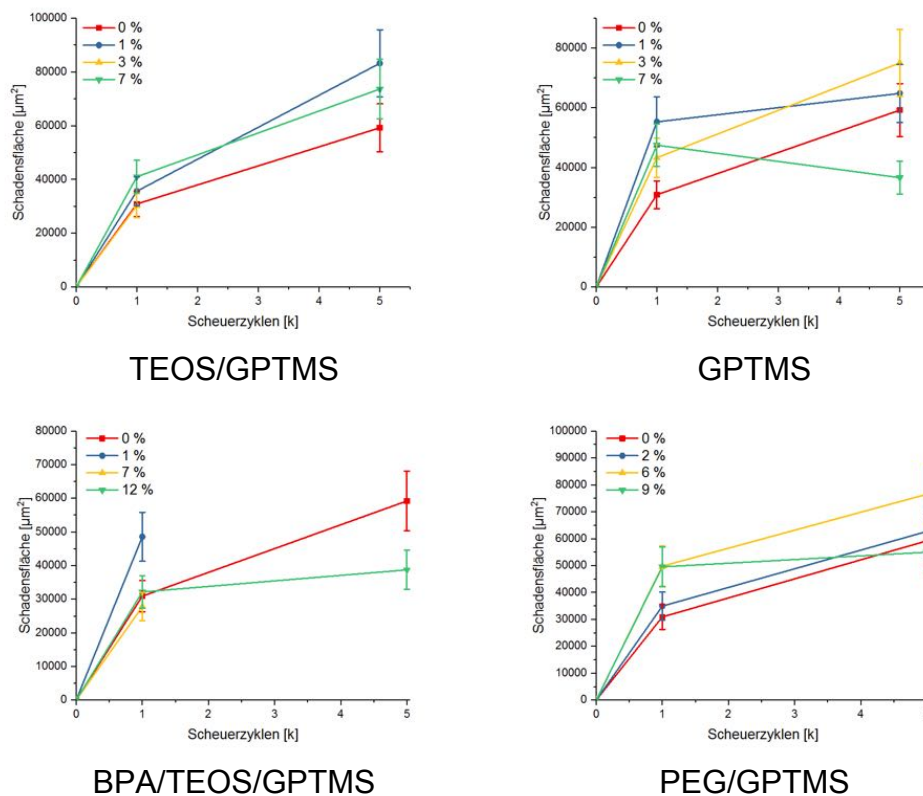


Abbildung xxx. Vergleich der Schadensflächen bei CO mit einer TEOS/GPTMS bzw. BPA/TEOS/GPTMS und GPTMS bzw. PEG/GPTMS Ausrüstung

5.4.3.3 Harte Beschichtung durch Vernetzung

Durch die Verwendung des Methacrylat-basierten Silans kann die Beschichtung durch UV-Strahlung ausgehärtet werden. Solche Systeme werden typischerweise als UV-härtende Lacke verwendet. Auf Textilien erhöht die Vernetzung die Härte der Beschichtung und führt zu glasartigen Oberflächen.

Auf PET wirkt sich diese Beschichtung in einer hohen Auflage negativ aus. Die Schadensfläche ist bei der höchsten Auflage von 20 % am höchsten, und das Gewebe übersteht nur 50 k Scheuerzyklen. Kleinere Auflagen begünstigen deutlich kleinere Schadensflächen. Im Fall von CO wirkt die höchste Auflage von 28 % am günstigsten, eine mittlere Auflage führt eher zu einer Zerstörung des Gewebes nach 1 k

Scheuerzyklen. Interessanter Weise ist mit einer Auflage von 5 % das Gewebe dann wieder über 10 k Scheuerzyklen stabil (s. Abbildung 5.4.11)

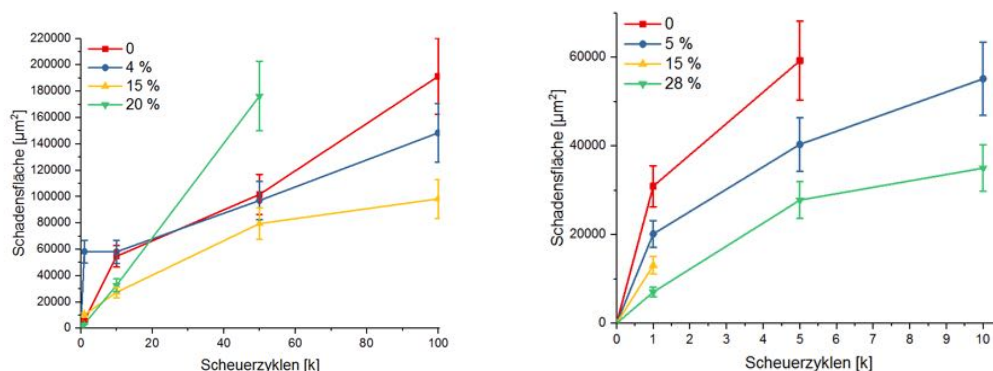


Abbildung 5.4.11. Verlauf der Schadensflächen von PET- und CO-Gewebe, ausgerüstet mit Metha.

5.4.4 Vergleich unterschiedlicher Gewebe Teil 2 – Einfluss der Ausrüstungen im Vergleich

Aufgrund der breiten Möglichkeit zur Auswahl von Geweben aus unterschiedlichen Polymeren oder mit einem unterschiedlichen Webmuster bestand ein Teil der Fragestellung darin, in wie weit sich die Scheuerbeständigkeit von einem Gewebe auf ein anderes übertragen lässt. Dazu wurden die vom PA zur Verfügung gestellten Gewebe mit unterschiedlichen Ausrüstungen versehen.

5.4.4.1 PET/CO Gewebe im Vergleich

Die beiden PET/CO Gewebe weisen ein Flächengewicht von 170 g/m^2 auf und unterscheiden sich nur in der Bindung. Der Vergleich im Verlauf der Schadensflächen zeigt, dass Beschichtungen auf Geweben aus vergleichbaren Materialien zu einem ähnlichen Verlauf der Schadensfläche für unterschiedliche Beschichtungen führen.

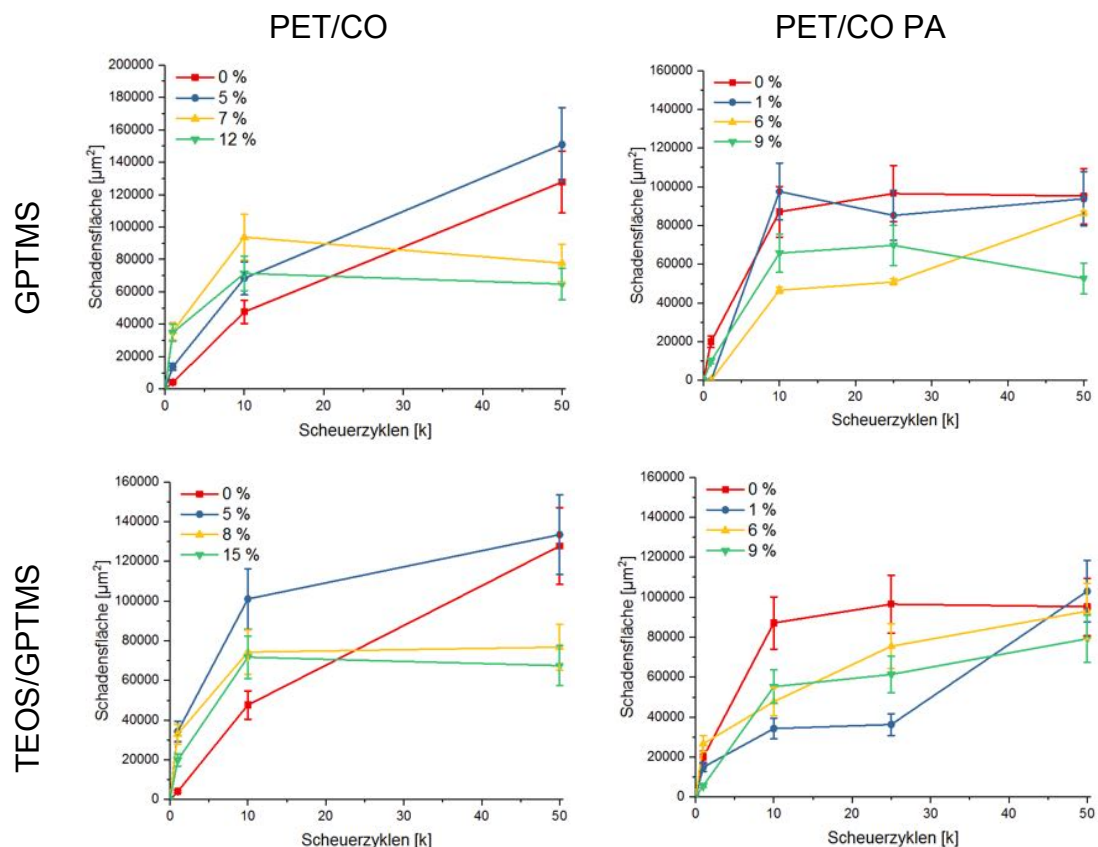


Abbildung 5.4.12. Vergleich der Schadensflächen auf zwei unterschiedlichen PET/CO-Geweben mit zwei verschiedenen Ausrüstungen

5.4.4.2 Vergleich eines CO/PA- und CO/PA-hochveredelten Gewebes

In diesem Fall steht die Fragestellung im Vordergrund, ob eine Beschichtung auf einem hochveredelten Gewebe einen Einfluss auf die Scheuerbeständigkeit des veredelten Gewebes hat. Als Ausgangsmaterial wurde dem DTNW ein Mischgewebe auf Basis von CO/PA mit einem Elastan-Anteil zur Verfügung gestellt. Werden die Gewebe mit unterschiedlichen Silanen ausgerüstet, so zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geweben. In Abbildung 5.4.13 ist als Beispiel eine TEOS/GPTMS-Ausrüstung gezeigt.

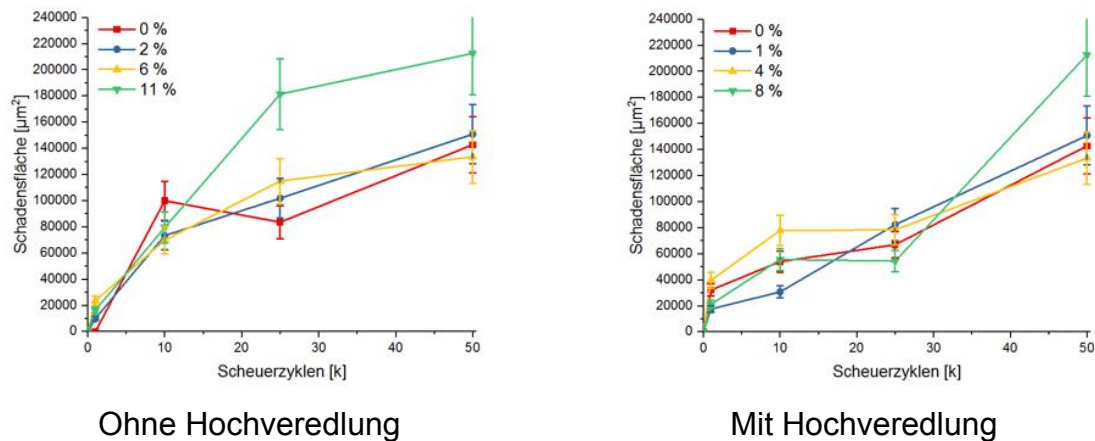


Abbildung 5.4.13. Scheuerbeständigkeit von CO/PA-Gewebe mit und ohne Hochveredlung mit einer TEOES/GPTMS-Ausrüstung

5.4.5 Einfluss der Oberflächenenergie der Beschichtung auf die Scheuerbeständigkeit

Um den Einfluss der Oberflächenenergien der Beschichtungen zu untersuchen, wurden die Textilien mit einer Serie unterschiedlicher Silane ausgerüstet. Dabei wurde der Bereich von niedriger bis hoher Oberflächenenergie abgedeckt. Um die unterschiedlichen Oberflächenenergien zu messen, wurden die Wasserkontaktwinkel (WCA) auf Glas bestimmt. Dazu wurde das hydrolysierte Silan als 3,5 %ige Lösung auf einen Objektträger aufgetragen und der WCA nach Trocknen bei 120 °C bestimmt. Auf der Bestimmung der Kontaktwinkel auf Textilien wurde verzichtet, da neben der Oberflächenenergie die Kapillarität die Kontaktwinkel stark beeinflussen kann. In Abbildung 5.4.14 sind die verwendeten Silane mit ihren WCA gezeigt.


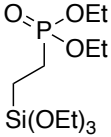
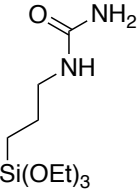

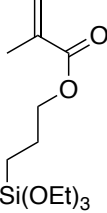
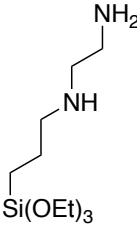
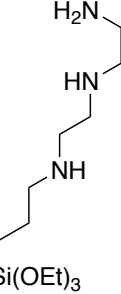
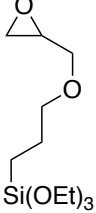
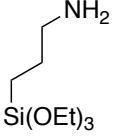
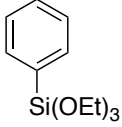
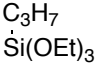
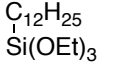
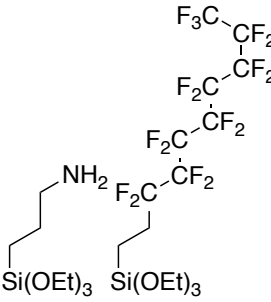
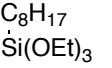
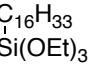
TEOS	Phos	Urea	C1	Metha	Diamo	Triamo	GPTMS
							
39,8 °	47 °	54,2 °	56,2 °	56,2 °	64,8 °	65,7 °	66,6 °
Mamo	Ph	C3	C12	Mamo/C6F		C8	C16
							
70,2 °	81,7 °	89,5 °	90,3 °	94,2 °		95,2 °	97,8 °

Abbildung 5.4.14. Verwendete Silane und die auf Glas erzielten WCA

5.4.5.1 Vergleich der Schädigung bei ähnlicher Auflage

Zum Vergleich der Scheuerbeständigkeit in Abhängigkeit der Oberflächenenergie wurde zuerst ein Vergleich der Scheuerbeständigkeit in Abhängigkeit der Auflage gemacht. Dazu wurden Ausrüstungen auf PET und CO mit 7 ± 2 Gew% Auflage ausgewählt. In Abbildung 5.4.15 sind die Scheuerbeständigkeiten für CO angegeben und in Abbildung 5.4.16 die von PET.

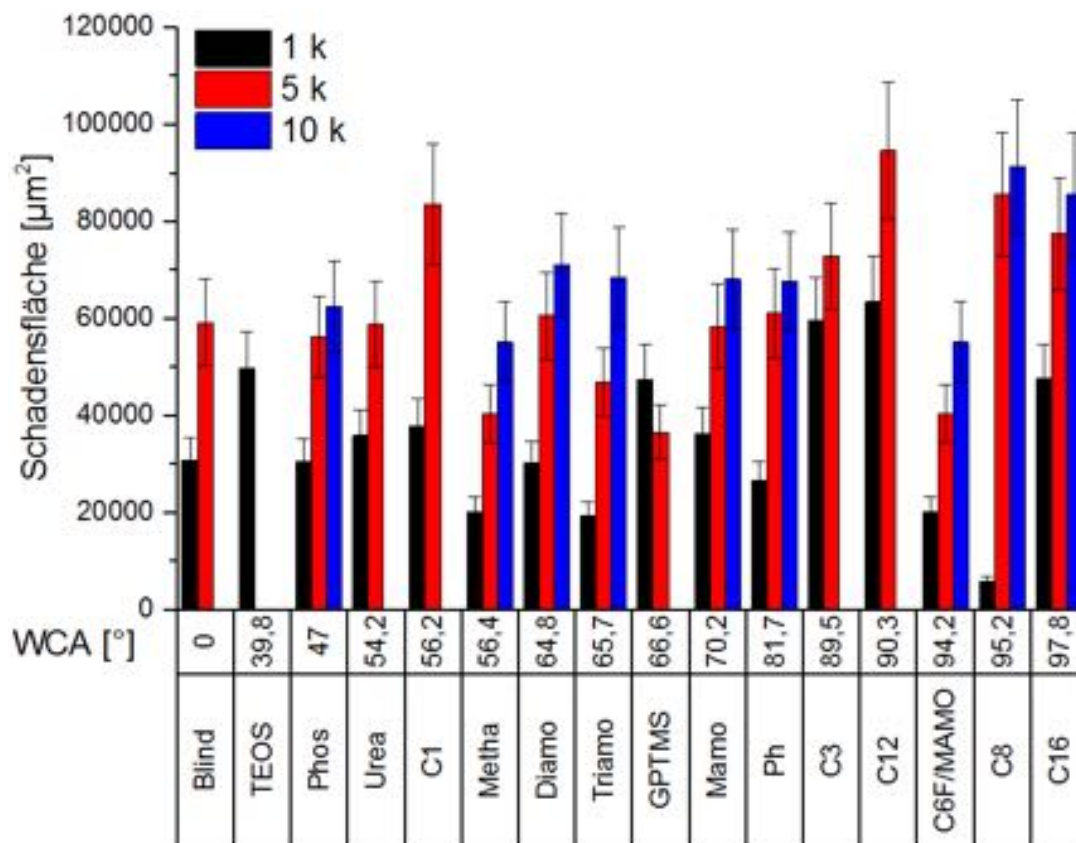


Abbildung 5.4.15. Scheuerbeständigkeit von CO-Gewebe mit 7 ± 2 Gew% Auflage in Abhängigkeit der Oberflächenenergie

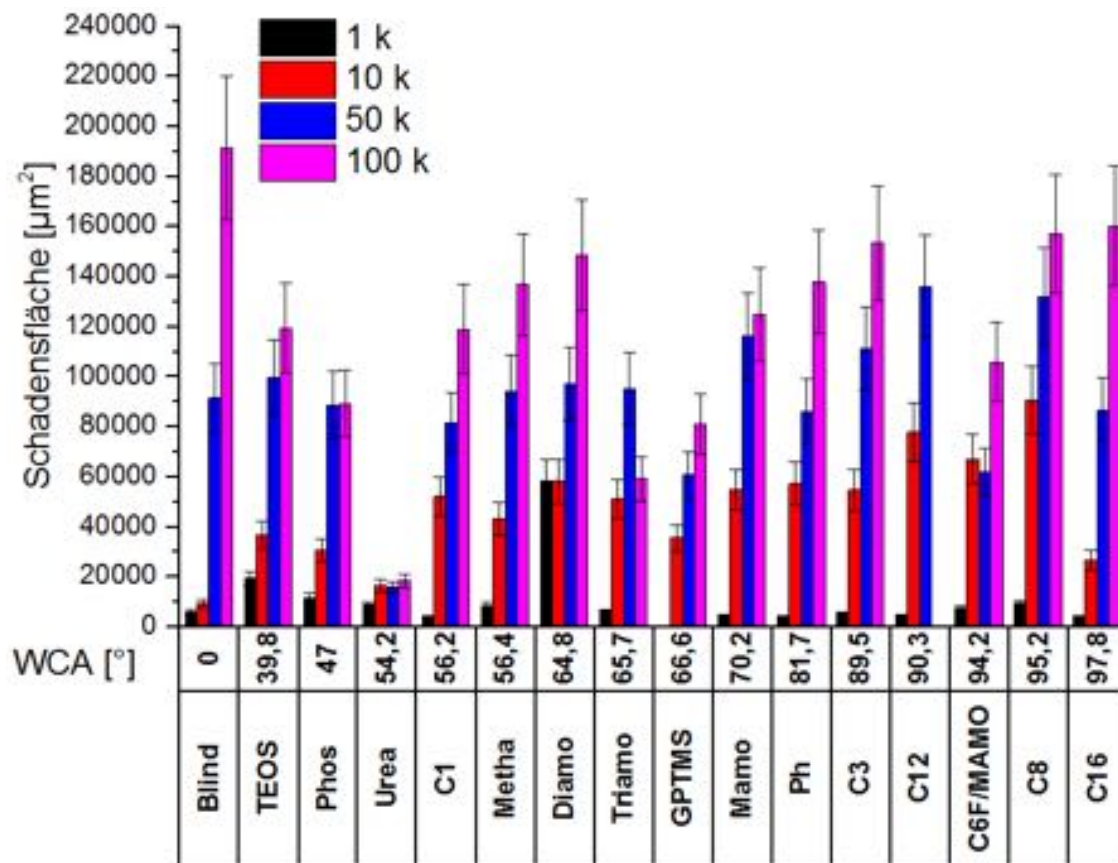


Abbildung 5.4.16. Scheuerbeständigkeit von PET-Gewebe mit 7 ± 2 gew% Auflage in Abhängigkeit der Oberflächenenergie

Im Vergleich zu den vorherigen Beschichtungssystemen haben die unterschiedlichen Ausrüstungen einen deutlich unterschiedlichen Effekt auf die Scheuerbeständigkeit der Gewebe. Unbehandeltes CO hat eine Beständigkeit bis maximal 5 k Scheuerzyklen, abhängig von der Ausrüstung können in diesem Querschnittvergleich die Beständigkeiten auf 10 k erhöht werden.

Ein ähnliches Bild ergibt die Ausrüstungen auf PET, dort ist die Schadensfläche bei 100 k Scheuerzyklen bis zu 50 % kleiner als bei unbehandelten PET.

Im Fall von PET weisen Beschichtungen mit Phos, Urea und C6F/MAMO die besten Beständigkeiten auf, bei CO ist es nicht so eindeutig. Ausrüstungen mit Phos und C6F/MAMO haben auch eine gute Beständigkeit, jedoch zeigen auch Diamo, Triamo, Ph oder C8 eine reduzierte Schadensfläche.

Eine Korrelation von Oberflächenenergie und Scheuerbeständigkeit konnte nicht festgestellt werden. Daher korrelieren DuPont- und Ölnoten bzw. Tropfeneinsinkzeiten auch nicht mit den Scheuerbeständigkeiten.

5.4.5.2 Vergleich der Schädigung in Abhängigkeit der Auflagen

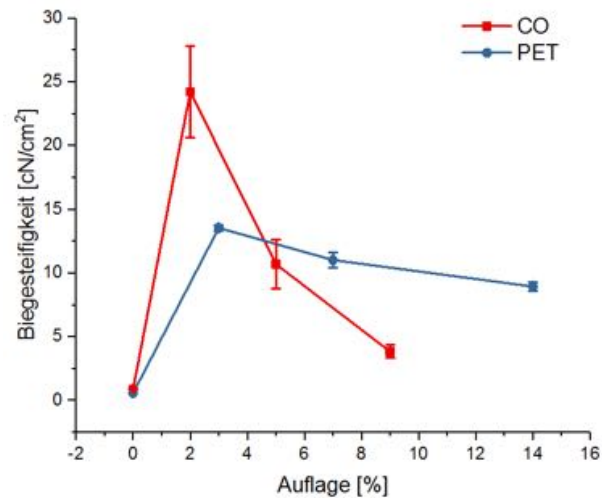
Aus dem Vergleich ähnlicher Auflagen konnte kein wirklicher Rückschluss auf den Einfluss der Polarität gezogen werden. Daher wurde Gewebe mit drei unterschiedliche Auflagen hergestellt. Um diese zu realisieren, wurden Sol-Gele hergestellt, welche einen Feststoffgehalt von 14,7 % und 3,5 % aufweisen. Durch die unterschiedlichen Feststoffgehalte lassen sich unterschiedliche Auflagen realisieren. Wenn man sich die Scheuerbeständigkeit in Abhängigkeit der Auflage ansieht, stellt man fest, dass Auflage und Beständigkeit nicht in Korrelation stehen. Silane, welche auf PET eine gute Scheuerbeständigkeit erzielen, erzielen diese auch auf CO. Der Rückschluss jedoch von einer guten Ausrüstung auf CO, dass diese auch gut auf PET funktioniert, ist nicht zulässig. Es gibt Ausrüstungen, welche die Beständigkeit von CO verbessern, sich aber negativ auf die Beständigkeit von PET auswirken (s. Tabelle 5.4.1 C8 u. C16). Eine Übersicht über diese Ergebnisse ist in Tabelle 5.4.1 zusammengefasst, dort sind jeweils die Zyklen angegeben, welche das Gewebe bestanden hat, die Scheuerversuche wurden bei PET bis max. 100 k Zyklen durchgeführt.

Bei CO konnte man bei diesem Vergleich beobachten, dass es auch 25 k Scheuerzyklen bestehen kann, wenn das Gewebe eine Auflage von ca. 10-15 % des Silanes aufweist.

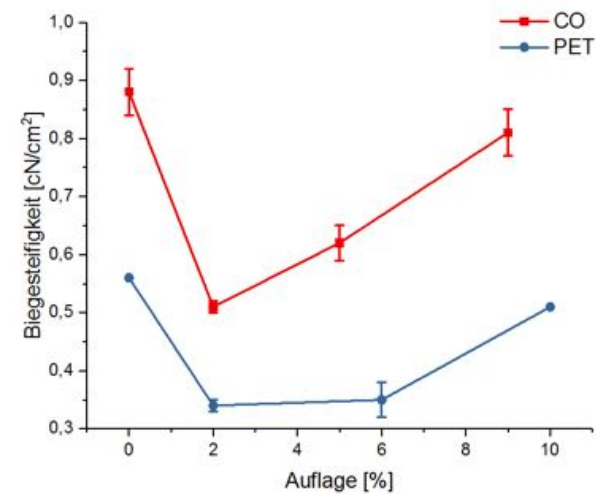
Ein Vergleich von Phos, Urea und C6F/MAMO zeigt, dass Phos und C6F/MAMO auch in geringen Auflagen eine gute Effektivität aufweisen, im Gegensatz zu Urea. Der Verlauf der Schadenfläche ist in Abbildung 5.4.18 gezeigt. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden die Ausrüstungen mit Phos und C6F/MAMO ausgewählt für die Kombination mit anderen Ausrüstungen, da diesen Ausrüstungen auch mit geringen Auflagen zu einer guten Scheuerbeständigkeit führen. Interessanterweise unterscheiden sich beide Ausrüstungen stark in der Biegesteifigkeit, so dass eine Korrelation von Biegesteifigkeit und Scheuerbeständigkeit ausgeschlossen werden kann (s. Abbildung 5.4.17).

Tabelle 5.4.1. Übersicht über den Einfluss unterschiedlicher Silane auf die Scheuerbeständigkeit von CO und PET

Gewebe	Silan Konz.	TEOS	Phos	Urea	C1	Metha	Diamo	Triamo	GPTMS	Mamo	Ph	C3	C12	C6F MAMO	C8	C16
CO	14 %	1 k	5 k	25 k	1 k	10 k	25 k	25 k	5 k	10 k	10 k	5 k	1 k	5 k	10 k	10 k
	7 %	1 k	5 k	5 k	5 k	1 k	10 k	5 k	10 k	10 k	10 k	5 k	5 k	5 k	10 k	10 k
	1,4 %	1 k	10 k	10 k	10 k	10 k	5 k	10 k	10 k	10 k	10 k	5 k	10 k	10 k	5 k	10 k
PET	14 %	100 K	100 K	100 K	100 K	50 k	100 K	100 K	100 K	100 K	100 K	50 k	10 k	100 K	10 k	10 k
	7 %	100 K	100 K	100 K	100 K	100 K	100 K	100 K	100 K	100 K	100 K	50 k	10 k	100 K	10 k	10 k
	1,4 %	100 K	100 K	100 K	100 K	100 K	50 k	50 k	100 K	10 k	50 k	50 k	50 k	100 K	50 k	50 k



C6F/MAMO



Phos

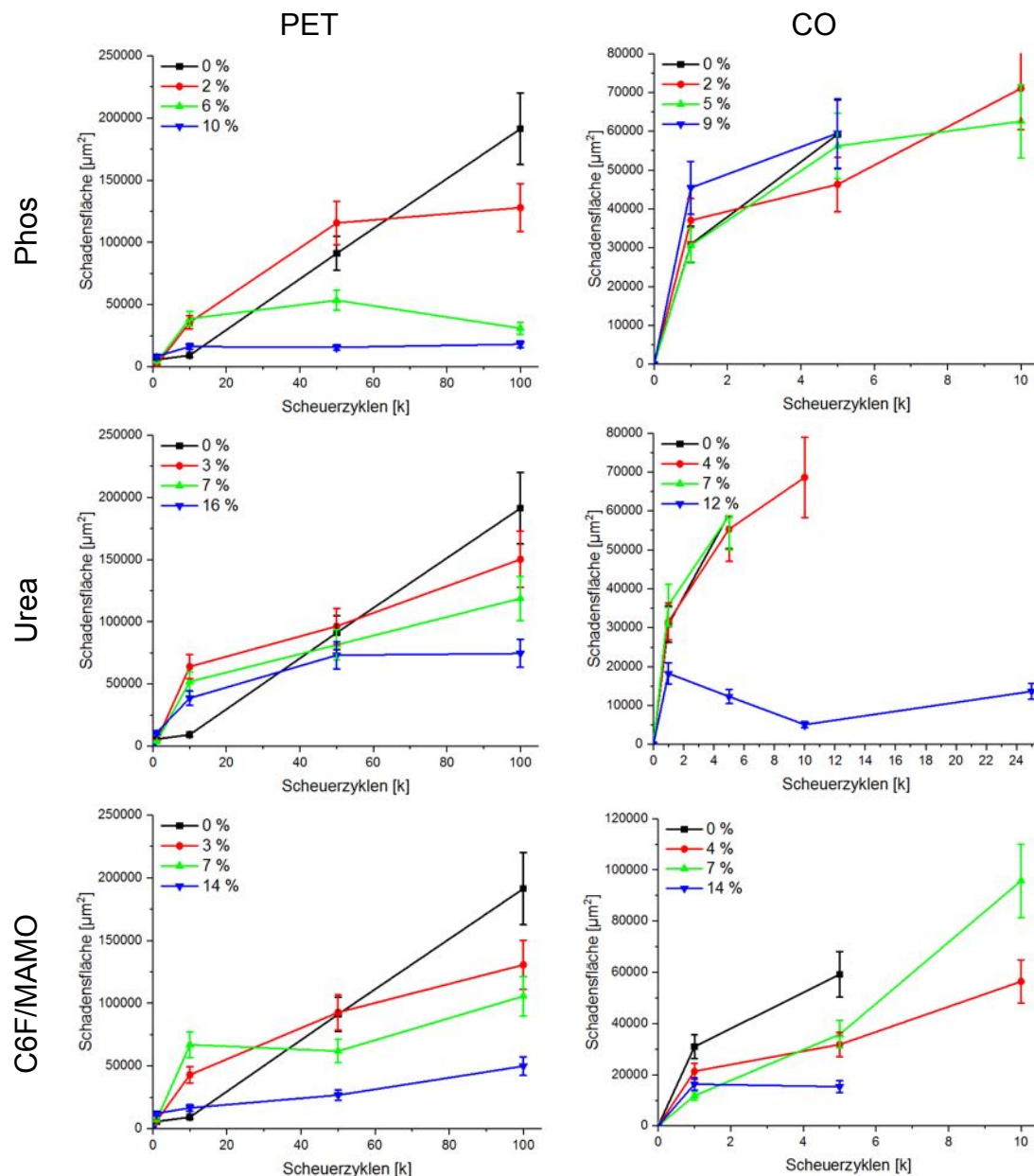


Abbildung 5.4.18. Einfluss von Phos-, Urea- oder C6F/MAMO-Ausrüstungen mit unterschiedlichen Auflagen auf die Scheuerbeständigkeit von PET und CO

5.4.5.3 Waschbeständigkeit von C6F/MAMO und Phos

Das C6F/MAMO und Phos sowohl von PET als auch von CO die Scheuerbeständigkeit verbessern, wurden von diesen Geweben die Waschbeständigkeit im Linitester untersucht. Die Gewebe wurden dafür 5 und 10 mal gewaschen. Dabei zeigt sich, dass PET-Gewebe welche mit Phos ausgerüstet sind, keine Waschbeständigkeit haben. Im Fall der anderen Ausrüstungen bleibt die Auflage nach 10 Wäschen unverändert.

Von den waschstabil ausgerüsteten Geweben wurden die entsprechenden Scheuerversuche gemacht, um festzustellen, wie die Wäsche die Ausrüstung beeinflusst.

In Abbildung 5.4.19 erkennt man, dass nach 10 Wäschen des mit C6F/MAMO ausgerüsteten PET-Gewebes die Schadensfläche deutlich größer ist, als beim unausgerüsteten Gewebe. Beim CO-Gewebe ist die Schadensfläche nach entsprechenden Scheuerzyklen im Vergleich zum gewaschen Originalgewebe deutlich kleiner.

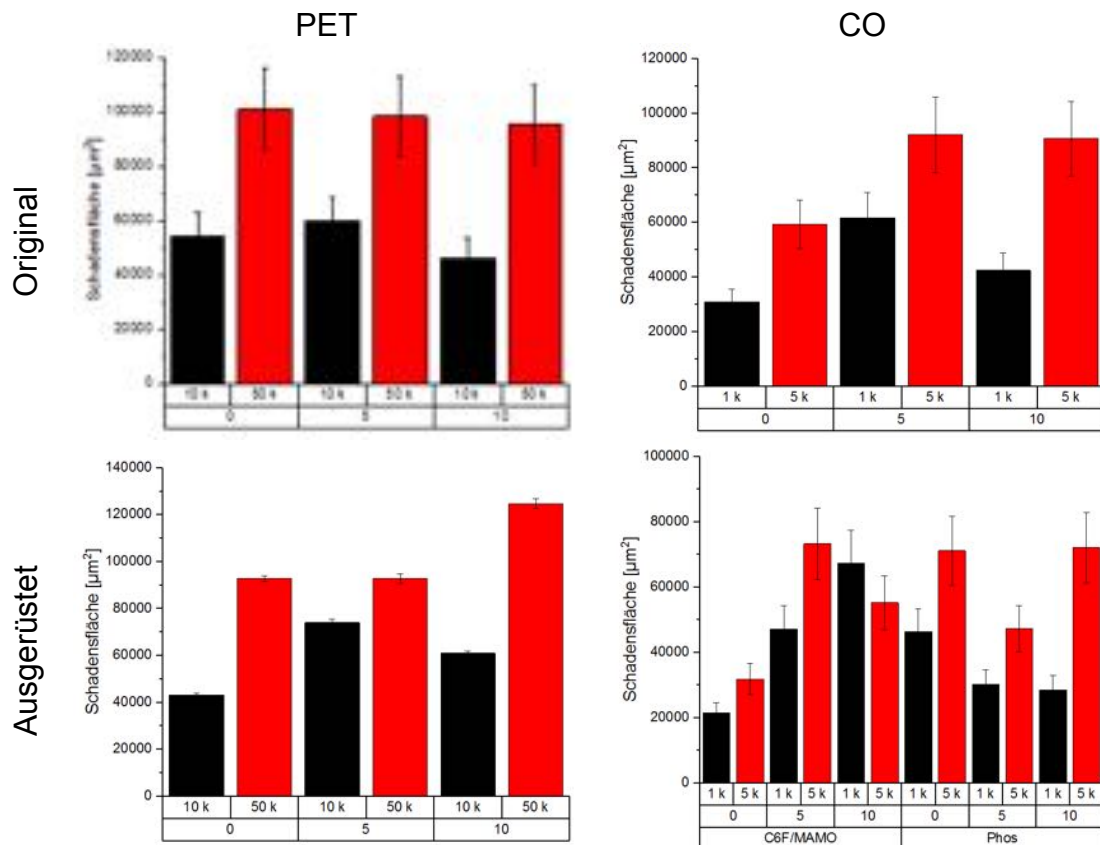


Abbildung 5.4.19. Mit C6F/MAMO ausgerüstetes PET- und CO-Gewebe und CO-Gewebe ausgerüstet mit Phos im Scheuerbeständigkeitsvergleich zum Originalgewebe

5.5 Weichgriffausrüstungen als Verbesserung der Scheuerbeständigkeit

Im Rahmen des Projektes sollte ein Vergleich von industrieller Ausrüstung für den Weichgriff und Scheuerbeständigkeitsausrüstungen mit analogen Sol-Gel-Ausrüstungen erfolgen. Typische Ausrüstungsmittel bestehen aus Polyurethan (PU), Polyurethanen/Polyester-Copolymer (PET/PU), Polystyrolen (PS), Polyacrylaten (AC) oder Polyethylenen (HDPE) für diese Anwendungen. Dabei gilt die verwendete PU-Ausrüstung als besonders abrasionsbeständig, die PET/PU-Ausrüstung als sehr weiche Ausrüstungen, die HDPE-Ausrüstung hat einen glättenden Effekt.

5.5.1 Industrielle Ausrüstungen

Die industriellen Ausrüstungen wurden alle so eingesetzt, dass die Beschichtungen mit dem gleichen Aktivstoffgehalt erfolgten. Im Fall der industriellen Ausrüstungsmittel erkennt man, dass CO 10 k Scheuerzyklen übersteht, im Fall der HDPE Ausrüstung sogar 25 k, die Schadensflächen bei 1 und 5 k sind jedoch ähnlich. Ein ähnliches Verhalten der Schadensflächen findet man auch bei PET für 10 und 50 k, Bei 100 k sind diese jedoch deutlich kleiner. Die PU-Ausrüstung, welche nach Produzentenaussagen eine große Abrasionsbeständigkeit aufweist, scheint auf Basis der Schadensflächen diese mäßig zu verbessern (Abbildung 5.5.1).

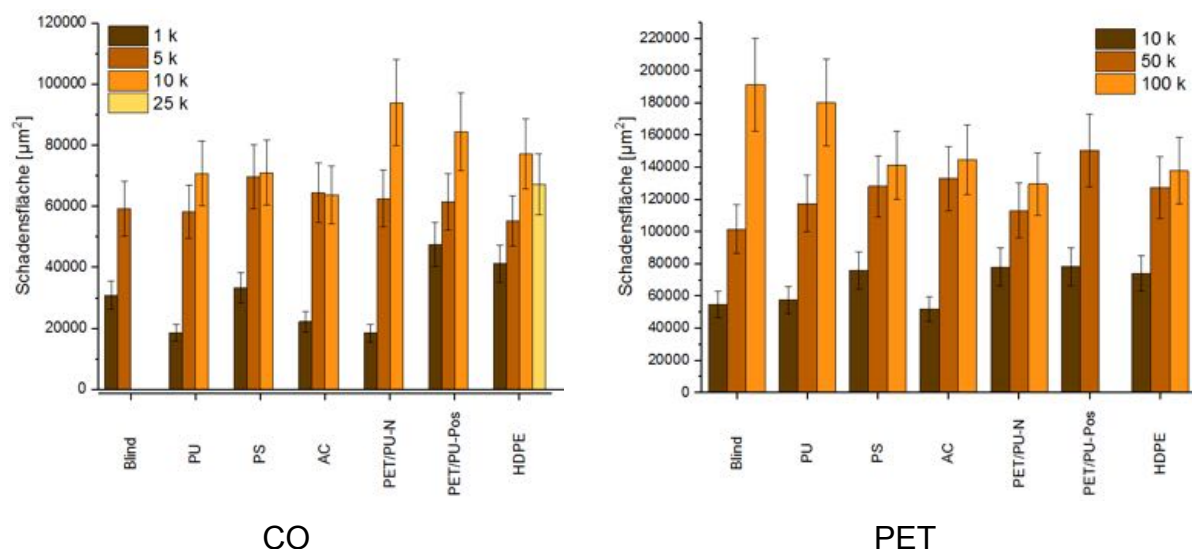


Abbildung 5.5.1. Verlauf der Schadensflächen auf CO und PET, ausgerüstet mit unterschiedlichen Weichgriff- und Abrasionsbeständigkeitsausrüstungen

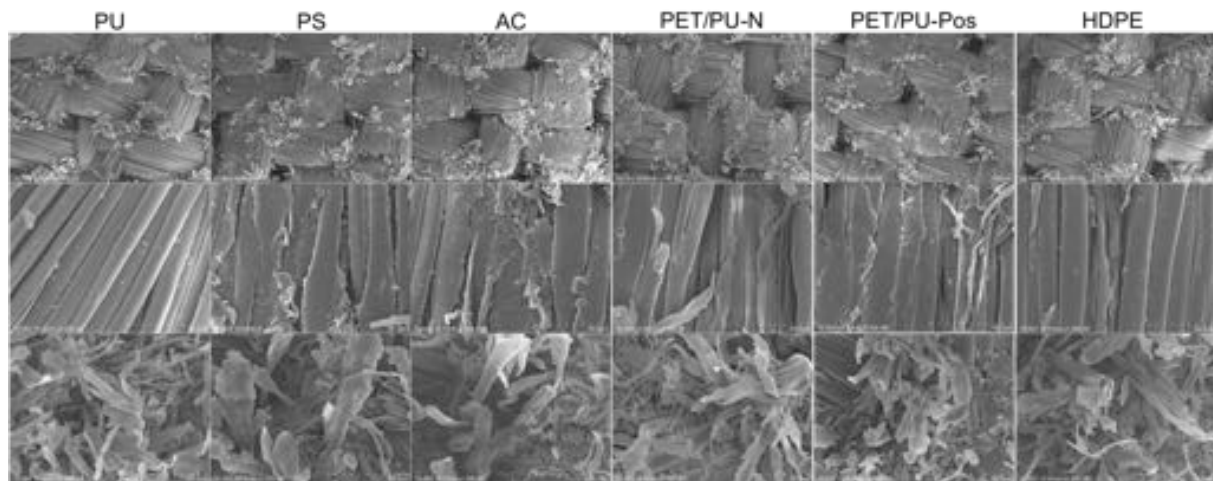


Abbildung 5.5.2. Schädensbilder der industriellen Hilfsmittel auf PET nach 50 k Scheuerzyklen

Die Auswertung der Schädensbilder von PET und CO zeigt keinen signifikanten Unterschied in Abhängigkeit der Beschichtung, aus der man einen Rückschluss auf den Schädigungs- bzw. Schutzmechanismus ziehen kann. Abbildung 5.5.2 zeigt eine Übersicht der Schädensbilder von PET nach 50 k Scheuerzyklen.

5.5.2 Vergleich zu Sol-Gel Ausrüstungen

Bei den Sol-Gel-Applikationen, welche im vorherigen Kapitel untersucht wurden, lassen sich die Ausrüstungen mit Ph, C8, C12 und C16 bzw. C6F/MAMO am ehesten mit den verwendeten industriellen Ausrüstungen vergleichen. Die Ausrüstungsvarianten C8, C12 und C16 haben sich als nicht besonders effektiv erwiesen. Die einzige Ausrüstung, welche eine Verbesserung erbrachte, war das fluorosilanhaltige Sol-Gel, wobei von klassischen FC-Ausrüstungen bekannt ist, dass diese eher eine geringe Scheuerbeständigkeit aufweisen.

5.6 Nanopartikel für eine verbesserte Abrasionsbeständigkeit

Um den Einfluss von Nanopartikel auf die Abrasionsbeständigkeit zu untersuchen, wurden diese in ein GPTMS Sol mit drei unterschiedlichen Anteilen eingebracht. Die Nanopartikel wurden nach der Größe zwischen 21-400 nm ausgewählt. Dabei wurden die Nanopartikel in einen GPTMS-Sol dispergiert und Sol-Nanopartikel Verhältnisse von 4:1, 8:1 und 56:1 gewählt. Dabei wurden die Gewebe mit drei verschiedenen Konzentrationen beschichtet, um eine Variation der Auflage zu erzielen.

5.6.1 Einflusses der Nanopartikelgröße

Ein Vergleich zeigt, dass man keine Aussage über die Verbesserung der Scheuerbeständigkeit in Abhängigkeit der Nanopartikelgröße machen kann. Auf CO führen Nanopartikel Ausrüstungen in GPTMS zu einer Vergrößerung der Schadensfläche und begünstigten die Zerstörung des Gewebes nach nur 1 k Scheuerzyklen. Im Fall von PET führen Nanopartikel zu einer Verbesserung, jedoch ist eine Beschichtung mit GPTMS effektiver. Die Beobachtung wiederholt sich bei allen Auflage mit unterschiedlichen Anteilen der Nanopartikel-Ausrüstungen. In Abbildung 5.6.1 sind die Verläufe der Schadensfläche für Ausrüstungen auf CO und PET gezeigt

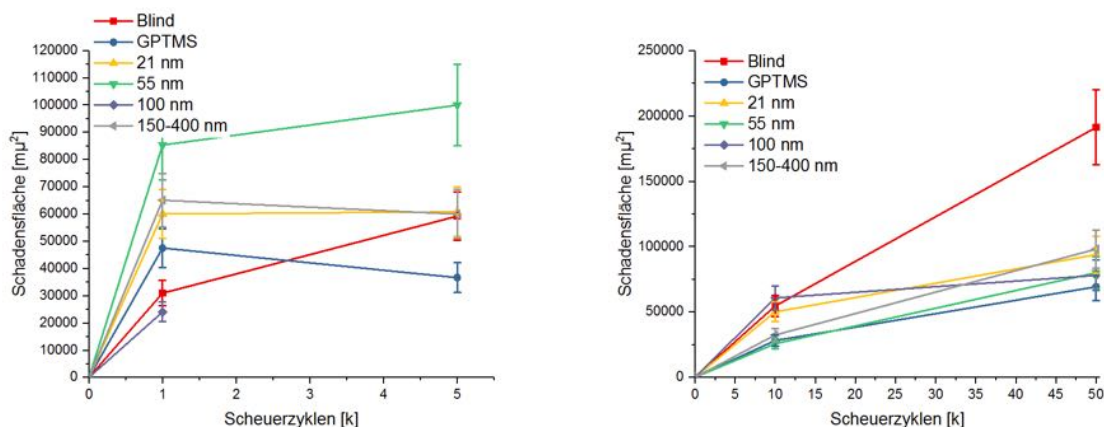
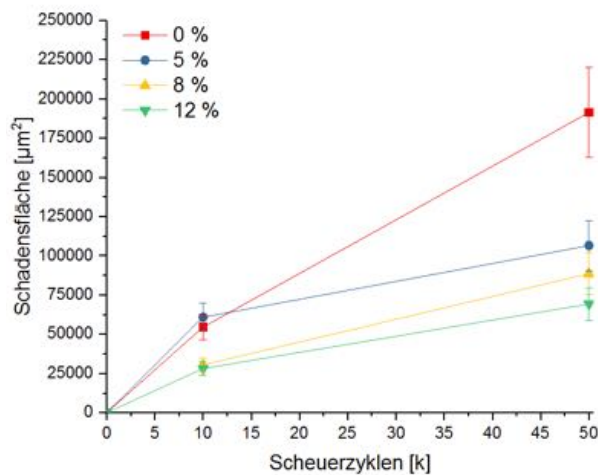


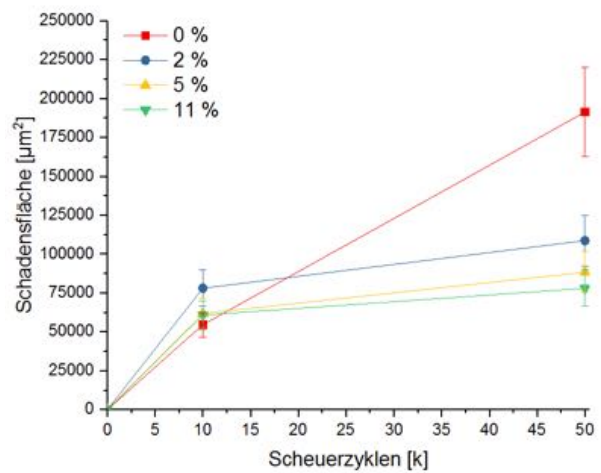
Abbildung 5.6.1. Verlauf der Schadensflächen auf PET und CO Gewebe in Abhängigkeit der Nanopartikel Größen, Sol-Gel: Nanopartikel 4:1, Auflage ca. 10 %.

5.6.2 Einfluss der Auflage des Nanopartikelanteils

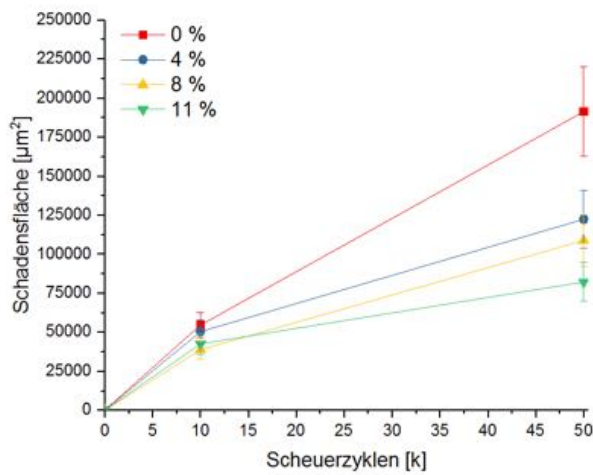
Da bei CO keine Verbesserung zum Original zu finden ist, wird der Einfluss der Nanopartikel in Abhängigkeit von Auflage und Anteil nur für PET hier beschrieben. Als Beispiel werden hier die Nanopartikel mit einer Größe von 100 nm genommen, die anderen Nanopartikelbeschichtungen verhalten sich analog. In Abbildung 5.6.2 sind die Schadensflächenverläufe für eine reine GPTMS Beschichtung mit unterschiedlichen Nanopartikelanteilen gezeigt. Im Fall der GPTMS Beschichtung zeigen die Nanopartikel keinen Effekt, die Schadensflächen haben alle eine Größe wie Beschichtungen ohne Nanopartikel.



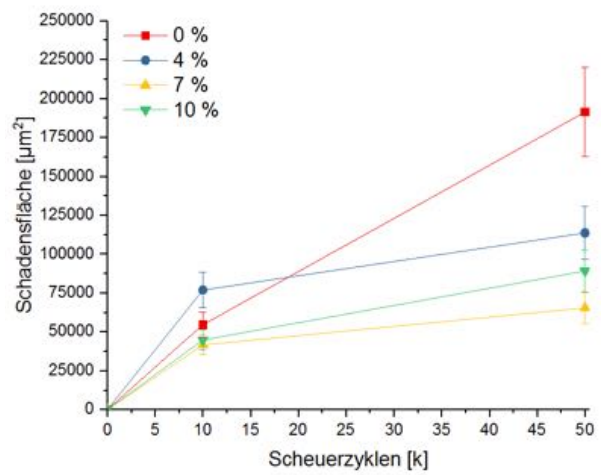
Sol-Gel : Nanopartikel 1:0



Sol-Gel : Nanopartikel 4:1



Sol-Gel : Nanopartikel 8:1



Sol-Gel : Nanopartikel 56:1

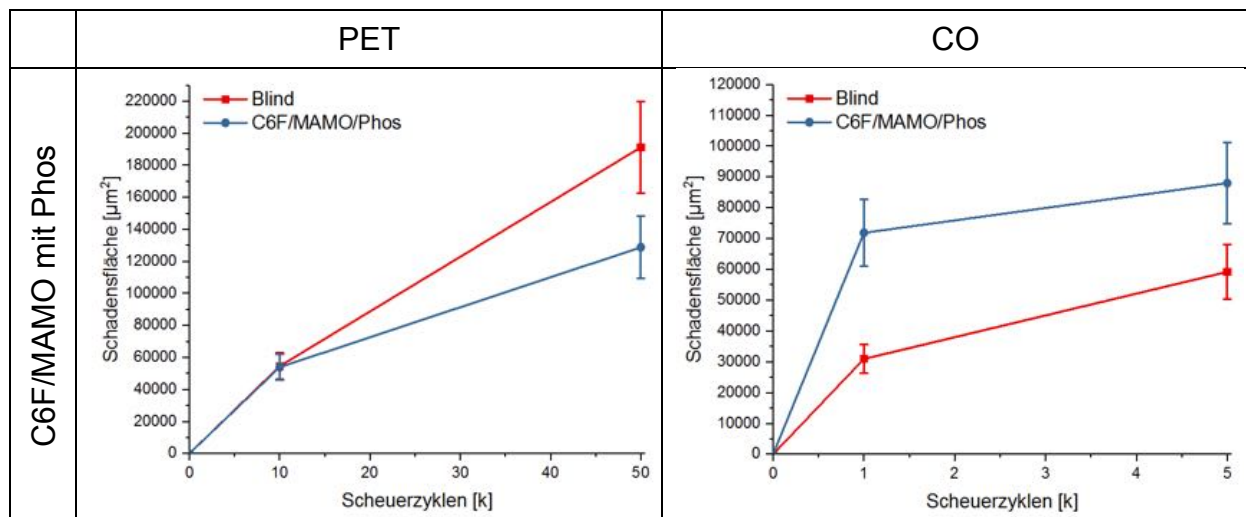
Abbildung 5.6.2. Einfluss des Nanopartikelanteiles und der Auflage auf die Schadensflächen

5.7 Kombinierte Beschichtungen – Optimierte Beschichtung

Um zu untersuchen, ob sich durch die Kombination unterschiedlicher Ausrüstungen, welche einzeln einen guten Effekt gezeigt haben, weitere Verbesserungen erzielen lassen, wurden unterschiedliche Ausrüstungen ausgewählt.

Als gute Ausrüstungsvarianten auf PET und auf CO haben sich GPTMS, Phos und C6F/MAMO bewährt, bei PET war eine Ausrüstung auf Basis eine AluOx-Sol auch effektiv. Von den kommerziellen Produkten war für beide Gewebe die HDPE- und für PET die Si/Zr-Ausrüstung effektiv. Dieses zuvor genannten Ausrüstungen wurden kombiniert, indem die GPTMS- bzw. die AluOx-Ausrüstung auf ein Textil aufgebracht wurden und dann die Beschichtung mit den anderen Komponenten erfolgte. Im Fall der Kombination von Phos mit C6F/Mamo wurde zuerst Phos aufgebracht und danach die hydrophobe Beschichtung.

Die Kombinationen zeigen keine Verbesserung im Vergleich zu den einzelnen Beschichtungen auf PET. Im Fall von CO zeigt sich eher eine Verschlechterung als eine Verbesserung, nur die Kombination von GPTMS mit HDPE führt zu deutlich kleineren Schadensflächen auf Baumwolle.



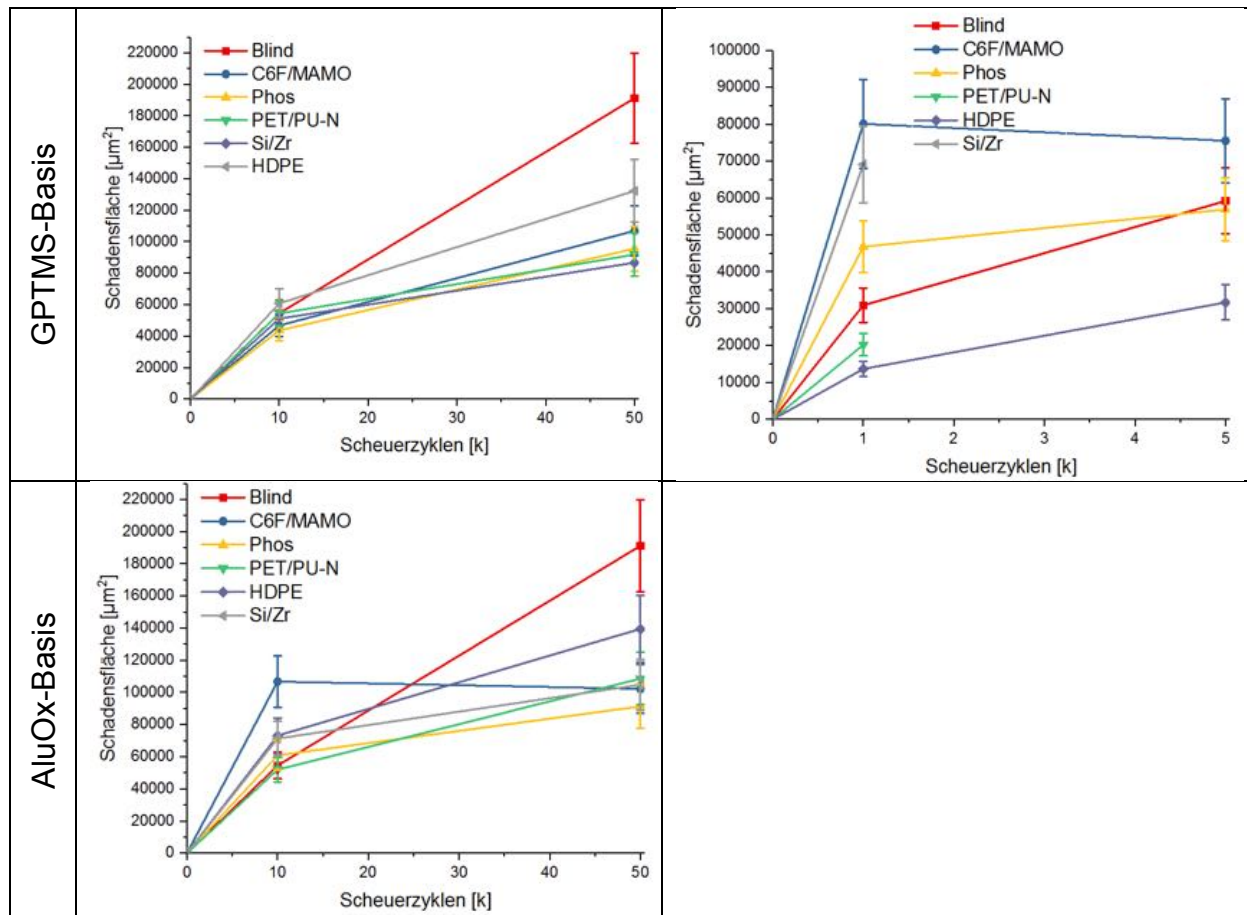


Abbildung :

5.8 Analyse der Schadensbilder

Aus den Schadensbildern soll ein Rückschluss auf den Wirkungsmechanismus der unterschiedlichen Beschichtungen erfolgen. In Kapitel 5.3.1 konnte gezeigt werden, dass die Schädigung des Gewebes auf einen Ermüdungsbruch einzelner Filamente zurückzuführen ist. In Abbildung 5.8.1 sind unbeschichtete CO- und PET-Gewebe nach zwei Scheuerintervallen gezeigt. Man erkennt bei CO ein deutliches Ausfransen der einzelnen Faser eines Fadens, was mit zunehmenden Scheuerzyklen stärker wird. Dieses Ausfransen ist ein deutliches Zeichen für ein Zerreißen der Fasern. Ein ähnliches Schadensbild ist im Fall von PET auch zu beobachten, dabei erkennt man, dass die Fransen immer dünner werden, wie man es erwarten würde, wenn ein Faser immer länger gezogen wird und nicht in Fibrillen zerfallen kann.

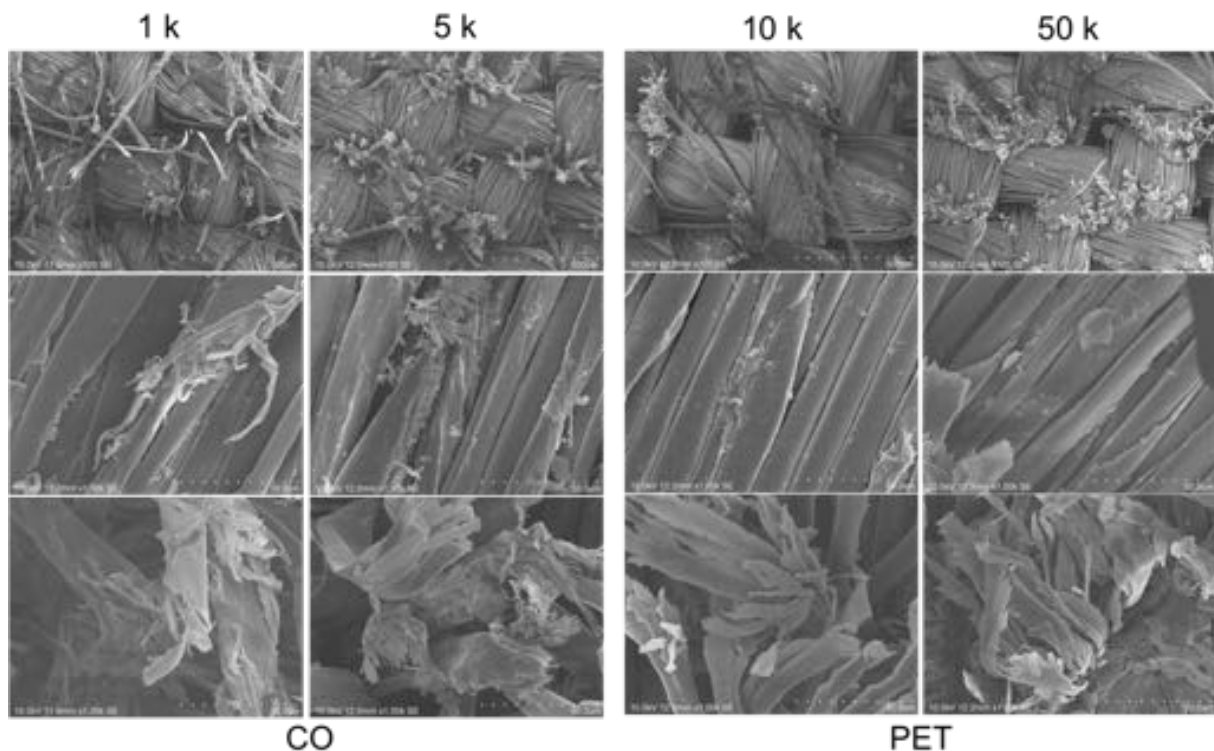


Abbildung 5.8.1. Vergleich der Schädigung von unbehandelten CO und PET. Von oben nach unten: Übersicht, vergrößerte Aussicht auf die Fadenoberfläche, Ansicht Faserbrüche.

Bei einer Beschichtung mit TEOS bestehen die CO-Gewebe nur 1 k Scheuerzyklen, egal mit welcher Auflage sie ausgerüstet sind. Bei PET sind die Gewebe 100k Zyklen stabil, bei 50 k Zyklen ist die Schadensfläche nur bei der höchsten Auflage kleiner als die des Originals, bei 100 k Zyklen ist diese bei allen kleiner als beim Original, wo die niedrigste Auflage die höchste Schadensfläche aufweist.

Aus den REM-Bildern von CO nach 1 k Scheuerzyklen erkennt man, dass die Faser-ränder stärker ausfransen. Diese Bilder lassen vermuten, dass die Fasern durch die

TEOS-Ausrüstung ihre Flexibilität verlieren und dadurch spröder werden, so dass sie unter Belastung leichter brechen (s. Abbildung 5.8.2).

Bei PET ist auffällig, dass die Fasern mit zunehmender Auflage und zunehmender Anzahl an Scheuerzyklen anfangen zu „verschmelzen“. Hinzu kommt, dass die Faser an den Bruchstellen nach 10 k Zyklen eher rund und glatt geschliffen wirken als ausgefranst, nach 50 k erkennt man gebrochene Fasern mit dem gewebetypischen Durchmesser und deutlich feinere Fasern. Die dickeren Fasern zeigen dabei runde, glatte Kanten. Eine Erklärung für dieses Phänomen ist, dass die TEOS-Ausrüstung bei der mechanischen Krafteinwirkung bricht und dann von den Fasern abplatzt. Die Partikel wirken als sehr feines Schleifmittel, was die runden und glatten Bruchstellen erklärt. Mit einer fortgesetzten Belastung brechen weitere Fasern, und die gebrochenen Fasern werden dünner geschliffen. Neben der Schleifwirkung ist es wahrscheinlich, dass auch ein Anteil an Reibungshitze entsteht, welcher dafür sorgt, dass die Faseroberfläche erweicht, wodurch das erweichte PET dann über die Faser verschmiert wird (s. Abbildung 5.8.2).

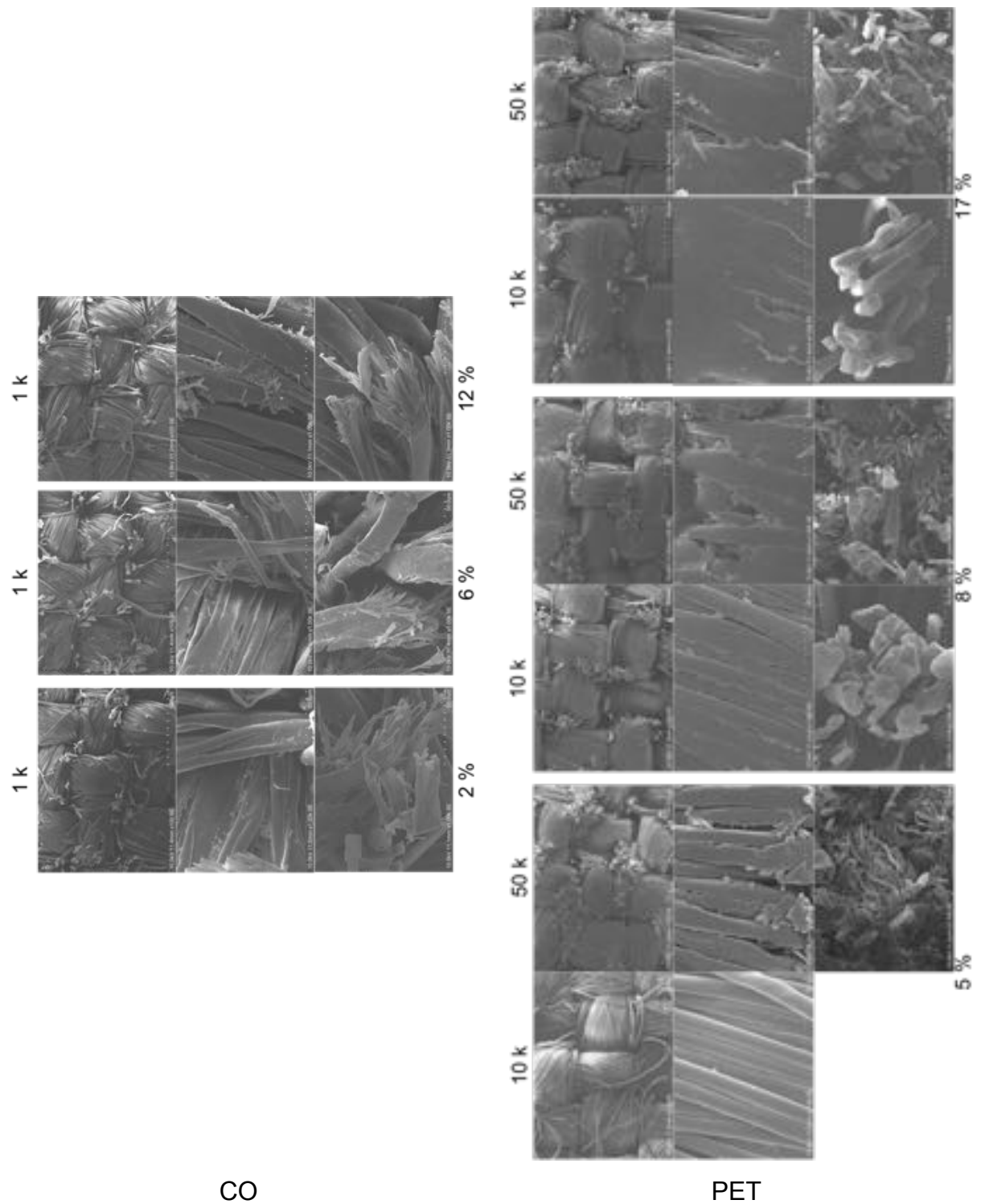


Abbildung 5.8.2. Vergleich der Schadensbildes von CO und PET mit unterschiedlichen TEOS Auflagen. Von oben nach unten: Übersicht, vergrößerte Aussicht auf die Fadenoberfläche, Ansicht Faserbrüche. Bei einer Auflage von 5 % sind bei PET keine Faserbrüche zu erkennen.

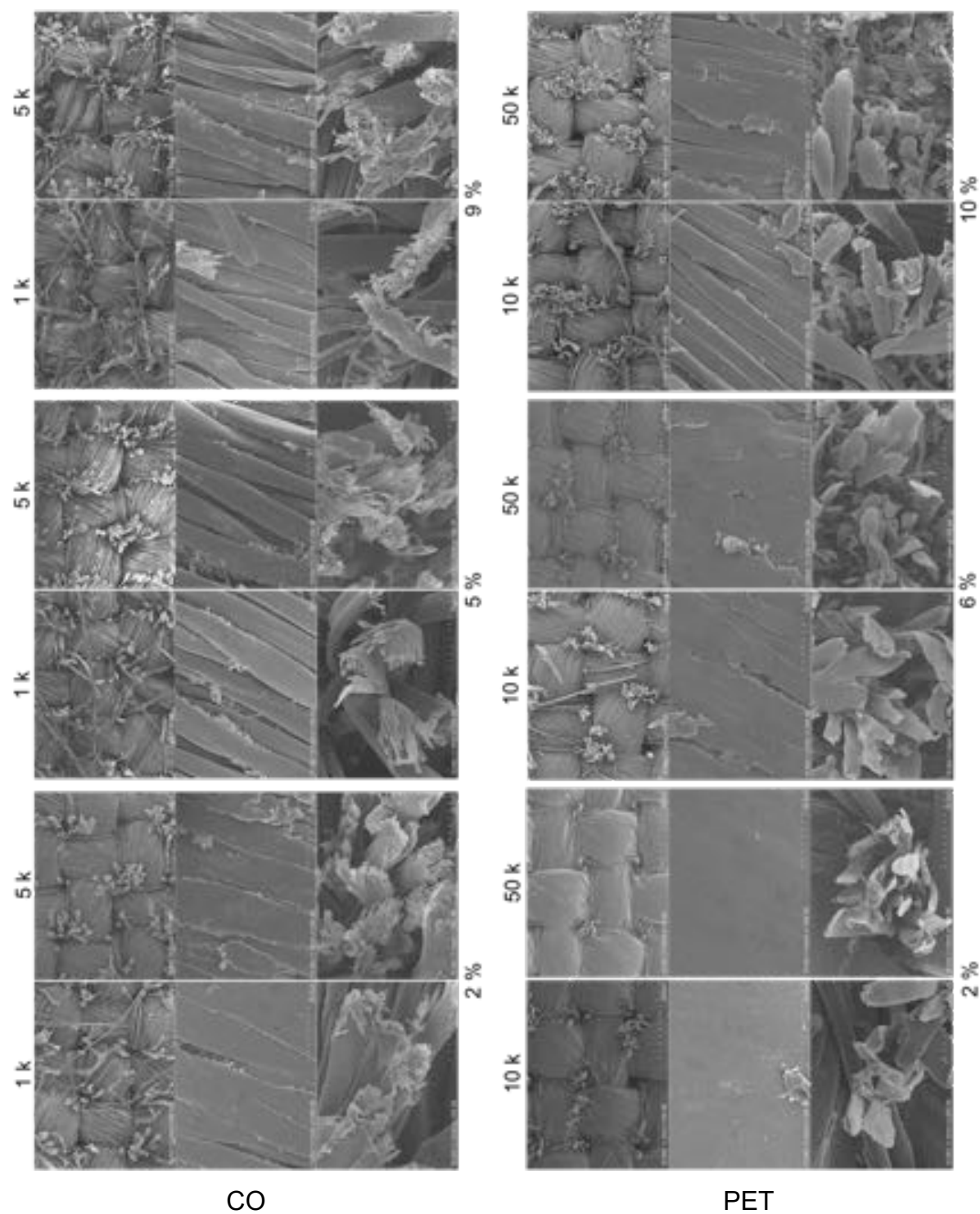


Abbildung 5.8.3. Vergleich der Schadensbildes von CO und PET mit unterschiedlichen Phos Auflagen. Von oben nach unten: Übersicht, vergrößerte Aussicht auf die Fadenoberfläche, Ansicht Faserbrüche.

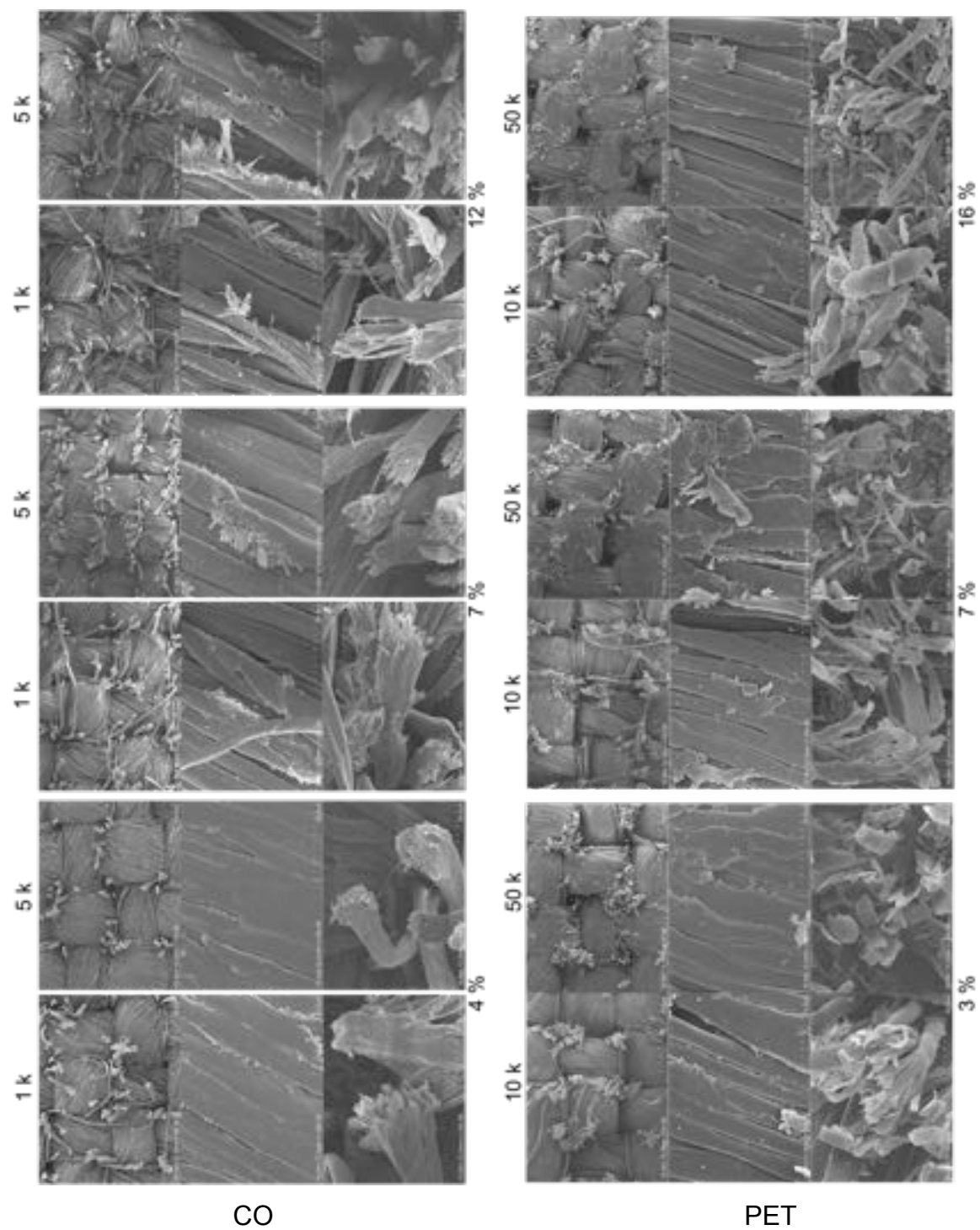


Abbildung 5.8.4. Vergleich der Schadensbildes von CO und PET mit unterschiedlichen Urea Auflagen. Von oben nach unten: Übersicht, vergrößerte Aussicht auf die Fadenoberfläche, Ansicht Faserbrüche.

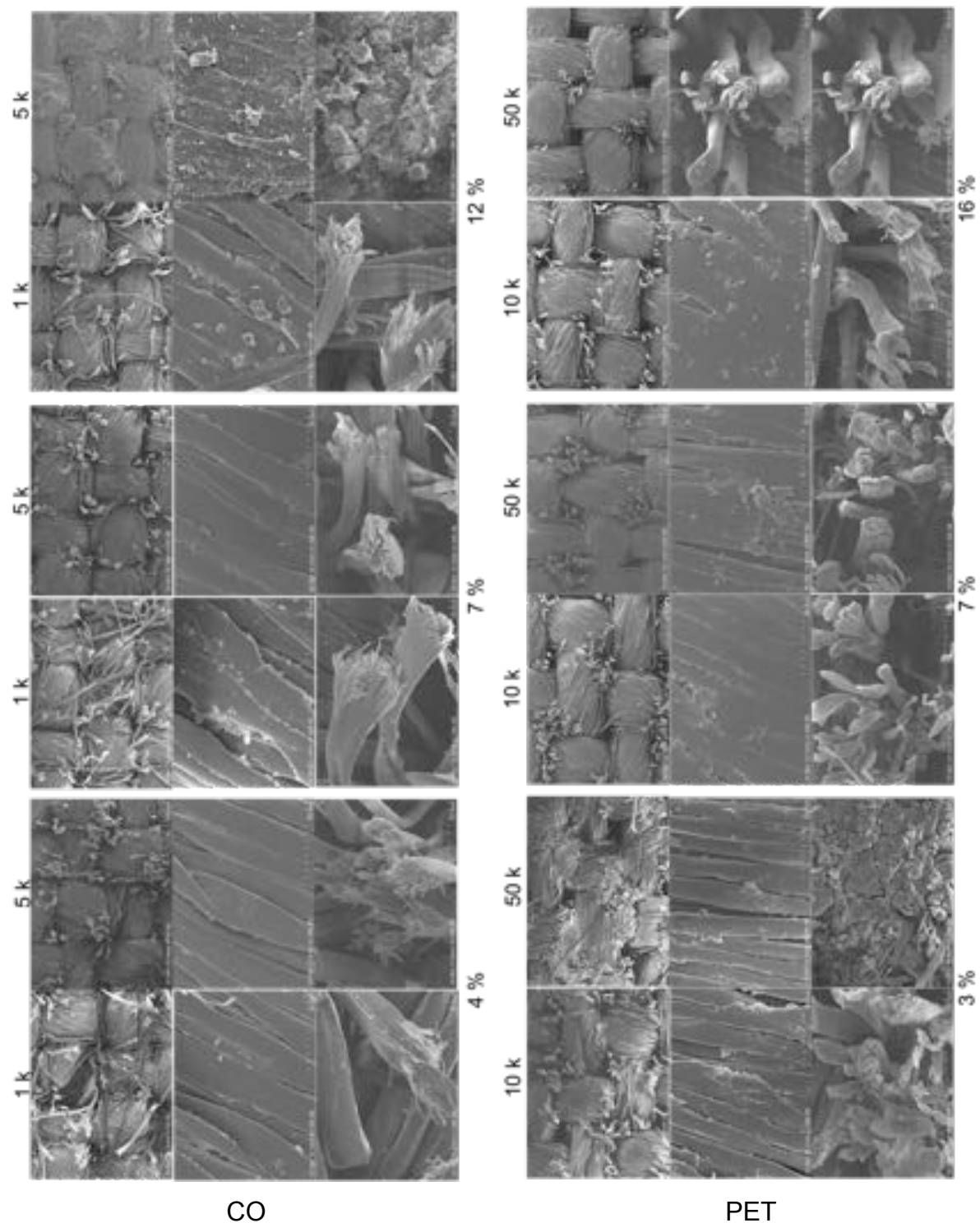


Abbildung 5.8.5. Vergleich der Schadensbilder von CO und PET mit unterschiedlichen C6F/MAMO Auflagen. Von oben nach unten: Übersicht, vergrößerte Aussicht auf die Fadenoberfläche, Ansicht Faserbrüche.

Die Phos-Ausrüstung führt auf CO und PET zu einer Verbesserung der Scheuerbeständigkeit. Bei einer Auflage von 9 % besteht das Gewebe 5 k Scheuerzyklen und bei 2 und 5 % 10 k. Mit einer geringen Auflage fransen die Faserbruchstellen nur schwach aus. Bei einer hohen Auflage ist diese deutlich stärker. Bei niedriger Auflage auf CO sehen die Fasern so aus, als befänden sie sich in einer Vorstufe des „ver-

schmelzens“ wie bei TEOS auf PET. Dieses Verschmelzen kann auf ein Verschmieren der Ausrüstung zurückzuführen sein. Über diesen Effekt lässt sich vielleicht die verbesserte Scheuerbeständigkeit erklären. Auf PET erkennt man ein ähnliches Verhalten wie bei einer TEOS-Ausrüstung, wobei hier die niedrigen Auflage zu einem „verschmelzen“ der Faser führt. Im Gegensatz zu TEOS, wo dieses Verhalten von einer hohen Auflage begünstigt wurde. Die Faserbrüche bei PET sind mehr rund und glatt, und es bilden sich bei hohen Auflagen stärker feine gebrochene Fasern aus (s. Abbildung 5.8.3).

Die Urea-Ausrüstung (s. Abbildung 5.8.4) auf CO führt zu einer verbessersten Scheuerbeständigkeit bei 4 und 12 % Auflagen, bei 7 % ist keine Verbesserung zu erkennen (s. Tabelle 5.4.1). Bei einer geringen Auflage beobachtet man ein „Verschmelzen“ der Fasern, ähnlich wie bei der 2 % Phos-Auflage. Bei größer werden den Auflagen ist zu beobachten, dass die Faserränder stark ausfransen, was dem Verhalten von TEOS ähnelt. Das Schädigungsbild auf PET ist ähnlich dem Schädigungsbild von PET mit Phos-Ausrüstung.

Im Fall der C6F/MAMO-Ausrüstung wiederholt sich das Schadensbild wie bei den zuvor genannten Ausrüstungen. Was hier deutlich auffällt ist, dass ein Verschmieren/Verschmelzen bei CO bei allen Auflagen stattfindet. Gleichzeitig findet man relativ kurze gebrochene Faser, welche rundgeschliffen wirken. Beim PET fallen auch rundgeschliffene Faserenden auf, dies lässt den Rückschluss zu, dass zum einen der Fluorcarbonanteil zu einem Verschmieren führt und der Siliziumanteil einen schleifenden Effekt hat.

5.9 Zusammenfassung

Ziel des Projektes war es, die Abrasionsbeständigkeit von Textilien zu verbessern und ein Verständnis für den Mechanismus hinter der Verbesserung der Abrasionsbeständigkeit zu ergründen. Dazu wurden innerhalb des Projektes unterschiedliche Thesen untersucht, wie die Ausrüstung der Textilien die Scheuerbeständigkeit verbessern kann. Die folgenden fünf Thesen wurden überprüft:

1. Harte anorganische Dünnschichten führen zu einer deutlichen Verbesserung der Abrasionsbeständigkeit
2. Organisch-anorganische Hybridpolymere sind deutlich flexibler als reine Anorganische Sole, was einen positiven Effekt auf die Abrasionsbeständigkeit hat

3. Niedrige energetische Oberflächen verbessern die Beständigkeit
4. Nanopartikel als Additive haben einen positiven Effekt auf die Abrasionsbeständigkeit
5. Kombinierte Ausrüstungen können den positiven Effekt auf die Scheuerbeständigkeit erhöhen

Inwieweit diese fünf Thesen sich durch die im Rahmen des Projektes gemachten Untersuchungen belegen lassen, wird im Folgenden für ein PET- und CO-Gewebe separat diskutiert, da die Ergebnisse zeigen, dass man diese Thesen in Abhängigkeit vom Gewebe betrachten muss.

5.9.1 Verbesserung der Scheuerbeständigkeit von PET

Zu These 1.

Harte anorganische Dünnschichten auf der Basis von Siliziumoxid führen nur in hohen Auflagen zu einer verbesserten Scheuerbeständigkeit von PET. Im Fall einer Beschichtung mit Aluminiumoxid wird dieser Effekt noch deutlicher.

Im Falle von hohen Auflagen sind die Fasern innerhalb eines Fadens stark verklebt. Diese Auflagerung führt dazu, dass sie weniger stark bei der Martindale Bewegung aus ihrer Position gezogen werden, wodurch es länger dauert, bis es zum Ermüdungsbruch kommt.

Zu These 2.

Durch die Kombination von GPTMS mit TEOS kann die Härte und Flexibilität der Beschichtung variiert werden. Vergleicht man die Scheuerbeständigkeit von Geweben, welche mit einem GPTMS und TEOS/GPTMS-Sol ausgerüstet wurden, mit denen einer TEOS-Ausrüstung, stellt man fest, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen ihnen zu erkennen sind.

GPTMS bietet neben der reinen Vernetzung der Epoxide noch die Möglichkeit, die Epoxide über einen Vernetzer reagieren zu lassen. Als mögliche Vernetzer wurden BPA und PEG getestet. BPA führt dabei eher zu einer Versteifung des Textiles und wird häufig für kratzfeste Oberflächen verwendet. PEG macht die Oberfläche weicher und dadurch das Textil flexibler.

Bei beiden Komponenten findet man eine Verbesserung der Scheuerbeständigkeit, wenn man das Additiv in einen Epoxid-OH-Gruppen-Verhältnis von 1:1 verwendet.

Dabei wirkt beim BPA eine hohe Auflage besonders effektiv. Beim PEG wirkte bereits eine Auflage von 2 % gut.

Durch die Beschichtung mit einem Methacrylat-Silan kann man harte glasartige Oberflächen erzeugen, welche besonders kratzfest sind. Diese Ausrüstung führt auch zu einer Verbesserung der Scheuerbeständigkeit von PET.

Zu These 3.

Im Rahmen des Projektes wurden hydrophile und hydrophobe Beschichtungen untersucht. Diese Beschichtungen zeigten, dass die Oberflächenenergie keinen Einfluss auf die Scheuerbeständigkeit hat. Eine gute Scheuerbeständigkeit von PET konnte sowohl mit einem Fluorosilan (niedrige Oberflächenenergie) als auch mit einem hydrophilen Phosphonsäureester (hohe Oberflächenenergie) erhalten werden. Auch langkettige hydrophobe Silane (niedrige Oberflächenenergie), welche die Struktur eines Weichgriffadditivs nachempfinden, führen zu keiner Verbesserung. Ein industrielles Weichgriffadditiv auf der Basis von HDPE zeigt bei 100 k Scheuerzyklen eine Verbesserung der Scheuerbeständigkeit.

Zu These 4.

Bei mit Nanopartikeln ausgerüsteten PET Proben konnte kein Einfluss durch Nanopartikel auf die Scheuerbeständigkeit von PET festgestellt werden.

Zu These 5.

Bei den Versuchen, gute Ausrüstungen zu kombinieren, wurde bei PET keine Verbesserung durch eine Kombination zweier Ausrüstungen festgestellt.

5.9.2 Verbesserung der Scheuerbeständigkeit von CO

Zu These 1.

Harte anorganische Dünnschichten auf der Basis von Siliziumoxid führen zu einer deutlich schnelleren Zerstörung von CO-Geweben. CO-Gewebe, welche mit einem TEOS-Sol ausgerüstet sind, zeigen ein deutlich stärkeres Ausfransen.

Die harte Ausrüstung führt wahrscheinlich dazu, dass die Fasern spröder werden und dadurch deutlich schneller brechen.

Zu These 2.

Durch die Kombination von GPTMS mit TEOS kann die Härte und Flexibilität der Beschichtung variiert werden. Vergleicht man die Scheuerbeständigkeit von CO-Geweben, welche mit einem GPTMS und TEOS/GPTMS-Sol ausgerüstet wurden, mit denen einer TEOS-Ausrüstung, zeigt sich, dass sowohl die TEOS/GPTMS- als auch die reine GPTMS-Ausrüstung zu einer deutlichen Verbesserung führen. In der Kombination von TEOS/GPTMS besteht ein CO-Gewebe mit einer Auflage von nur 1 % 10 k Scheuerzyklen, bei höheren Auflagen sind das nur 5 k Scheuerzyklen. Bei einer reinen GPTMS-Ausrüstung führen auch höhere Auflagen bis ca. 3 % zu einer Verbesserung, wobei eine Auflage von 1 % zu einer kleineren Schadensfläche als eine Auflage von 3 % führt.

Eine Beschichtung mit BPA in Kombination mit einem TEOS/GPTMS-Sol führt zu einer Verschlechterung der Scheuerbeständigkeit. Der Einsatz von PEG in Kombination mit einem GPTMS-Sol führt zu kleineren Schadensflächen.

Durch die Beschichtung mit einem Methacrylsilan kann man harte glasartige Oberflächen erzeugen, welche besonders kratzfest sind. Diese Ausrüstung führt auch zu einer Verbesserung der Scheuerbeständigkeit von CO.

Bei CO scheint die Härte bzw. Flexibilität der Ausrüstung einen Einfluss auf die Scheuerbeständigkeit aufzuweisen. Wenn die Ausrüstung flexibler wird, in diesem Fall von TEOS nach TEOS/GPTMS bis zu GPTMS, zeigt sich, dass die flexiblere GPTMS Ausrüstung effektiver ist als die anderen beiden. Wird die Flexibilität der Beschichtung durch ein verhärtendes Additiv (z.B. BPA) reduziert, so wirkt sich diese negativ auf die Scheuerbeständigkeit aus. Im Fall von PEG, was die Flexibilität erhöht, wird die Scheuerbeständigkeit verbessert.

Das Ergebnis der Methacrylsilan-Ausrüstung steht jedoch zu den zuvor genannten Beobachtungen im Widerspruch.

Zu These 3.

Im Rahmen des Projektes wurden hydrophile und hydrophobe Beschichtungen untersucht. Diese Beschichtungen zeigten, dass die Oberflächenenergie keinen Einfluss auf die Scheuerbeständigkeit hat. Gute Scheuerbeständigkeit von CO konnten sowohl mit einem Fluoro-, Phenyl- oder C8-Silan als auch mit hydrophilen Phosphonsäureester als auch Aminosilanen erhalten werden. Auch langkettige Silane, welche die Struktur eines Weichgriffadditivs nachempfinden, führen zu keiner Ver-

besserung. Ein industrielles Weichgriffadditiv auf der Basis von HDPE führte zu einer Verbesserung der Scheuerbeständigkeit auf 25 k Scheuerzyklen.

Zu These 4.

Bei mit Nanopartikel ausgerüsteten CO-Geweben konnte kein Einfluss der Nanopartikel auf die Scheuerbeständigkeit festgestellt werden.

Zu These 5.

Bei den Versuchen, gute Ausrüstungen durch eine Kombination noch zu verbessern, zeigte im Fall der Ausrüstung mit GPTMS in Kombination mit HDPE deutlich verringerte Schadensflächen.

6 Wertende Zusammenfassung

6.1 Gegenüberstellung der Ergebnisse mit der Zielsetzung des ursprünglichen Forschungsantrags

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollten die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Sol-Gel-Ausrüstung für die Verbesserung der Scheuer-/Abrasionsbeständigkeit für Gewebe aus unterschiedlichen Fasermaterialien untersucht werden. Dabei lag der Schwerpunkt auf Textilien für die Bereiche Bekleidung-/Berufsbekleidung sowie Bezugstoffe (Möbel, Automotive, Personentransport) liegen.

Das grundsätzliche Konzept der Sol-Gel-Technik bzw. der Herstellung von organisch-anorganischen Hybridpolymeren erlaubt die Synthese und Applikation von Beschichtungen mit in weiten Grenzen einstellbaren Eigenschaften. Die Oberflächen solcher Ausrüstungen können sehr glatt bis rau sein, die Schichten können glasartig hart bis weich sein, und sie können die Flexibilität, den Griff des textilen Flächengebildes weniger oder stärker beeinflussen. Anhand entsprechender Variationen soll untersucht werden, wie sich entsprechende Eigenschaften im Zusammenspiel auf die Scheuerbeständigkeit eines textilen Flächengebildes auswirken, um so ein tieferes Verständnis zu erlangen, wie Scheuerfestausrüstungen optimiert werden können.

Im Rahmen des Projektes konnte gezeigt werden, dass man Scheuerbeständigkeit immer nur im Rahmen der verwendeten Prüfmethode optimieren kann, da der Wirkmechanismus beim Martindale eine andere ist als beim Schopper oder Laufmetertest. Im Fall des Martindale-Verfahrens erfolgt eine Schädigung des Gewebes auf Basis von Ermüdungsbrüchen der Fasern eines Fadens. Beim Schopper- und Laufmeter-Verfahren erfolgt eine Schädigung durch einen schleifenden Materialabtrag.

Aus dieser Beobachtung folgt, dass man für das Martindale-Verfahren die Mechanik des Fadens in Gewebeverbund und der Fasermechanik im Faden verstehen muss und wie die Beschichtung sich auf diese beiden Faktoren auswirkt.

Im Fall des Schopper- und Laufmeter-Verfahrens spielt die Faden- und Fasermechanik eine untergeordnete Rolle, dort ist die Härte der Beschichtung als wichtiger Einflussfaktor zu sehen.

Die Ergebnisse zeigen, dass man bei Abrasionsbeständigkeit von Textilien sauber differenzieren muss, unter welchem Aspekt man Abrasionsbeständigkeit beim Textil betrachtet. Abrasionsbeständigkeit muss daher in Scheuerbeständigkeit gegen Gewebe und gegen Schleifmedien differenziert werden.

Für die Gewebeschädigung wurde im Projekt eine neuartige Methode zur Quantifizierung des Schadens entwickelt. Dafür war das im Rahmen des Projektes gekaufte Digitalmikroskop essentiell, da über die Mikrophotographien die Anzahl der gebrochenen Fasern quantifiziert werden konnte. Die Entwicklung dieser Methode war nicht als Projektziel vorgesehen, hat jedoch die Auswertung der Versuche innerhalb des Projektes deutlich vereinfacht.

Bei dieser Methode erfolgt die Quantifizierung nicht durch Auszählen der gebrochenen Fasern, sondern es konnte gezeigt werden, dass die Fläche, welche die gebrochenen Fasern einnehmen, als analytische Größe verwendet werden kann. Dabei wurde gezeigt, dass diese Methode reproduzierbar ist und einen Fehlerschwankungsbereich von ca. 15 % aufweist.

Durch die Variation der Sol-Gel-Systeme konnten zwei grundlegende Tendenzen für die Anforderungen an die Scheuerbeständigkeit für PET und CO erkannt werden. Auf CO wirken flexible Ausrüstungen in geringen Auflagen (1-5 %) positiv auf die Scheuerbeständigkeit und harte Auflagen negativ. Im Fall von PET findet man ein umgekehrtes Verhalten, dort wirkt eine harte starre Ausrüstungen in Auflagen um die 15 % am effektivsten. Eine Korrelation der Ausrüstungen mit textilen Parametern wie der Höchstzugkraft (s. Kap. 5.4.2), der Haft- und Gleitreibung, Biegesteifigkeit, Tropfeneinsinkzeiten bzw. DuPont- oder Ölnoten (s. Kap. 5.4.5) konnte nicht gefunden werden. Als effektive Beschichtungssysteme auf Sol-Gel Basis konnten für CO und PET Phos, Metha und C6F/MAMO-Sol-Gele identifiziert werden. Bei CO waren auch Sol-Gel Ausrüstungen auf Basis von GPTMS, Mamo, Diamo und Triamo effektiv. Auf PET konnten gute Beständigkeiten mit hohen Auflagen eines TEOS-Sol-Gels und eines Aluminiumoxid-Sol-Gels erzielt werden. Auf CO konnte eine gute und auf PET eine schlechte Waschbeständigkeit erzielt werden.

7 Danksagung

Das Forschungsvorhaben IGF-Nr. 18742 N der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 12-14, 10117 Berlin, wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses danken wir für die Bereitstellung von Mustern, für die Durchführung von hauseigenen Scheuertests sowie für die konstruktive Diskussion der Projektergebnisse, die zum Gelingen des vorliegenden Forschungsvorhabens wesentlich beigetragen haben.

8 Durchführende Forschungsstelle

Forschungsstelle:

Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West gGmbH
Institut an der Universität Duisburg-Essen und der Hochschule Niederrhein
Adlerstraße 1, 47798 Krefeld

Leiter der Forschungsstelle:

Professor Dr. Jochen Gutmann
Tel.: 02151/843-0 Fax: 02151/843-2095
EMail: jochen.gutmann@dtnw.de

Projektleiter:

Dr. Thomas Mayer-Gall
Tel.: 02151/843-2015 Fax: 02151/843-2095
EMail: mayer-gall@dtnw.de

9 Literatur

- i Wolfgang Bobeth, *Textile Faserstoffe -- Beschaffenheit und Eigenschaften*,
- ii S. Backer, S.J. Tanenhaus, *Textile Research Journal* (1951) **21**, 635
- iii H.K. Rouette, *Encyclopedia of textile finishing* (2002) Springer, Berlin
- iv N. Celik, Z. Degirmenci, H.K. Kaynak, *Tekstil ve Konfeksiyon* 1 (2010) 41-47
- v R. Shishoo, *Plasma Technologies for Textiles*, Woodhead Publishing, Cambridge, 2007.
- vi G. Rosace, R. Canton, C. Colleone, *Applied Surface Science* **256** (2010) 2509–2516
- vii H. Thomas, *Plasma Modification of Wool*, *Plasma technologies for textiles*, Publisher: Woodhead Publishing, Editors: R. Shishoo
- viii S. Brzeziński, D. Kowalczyk, B. Borak, M. Jasierski, A., Tracz, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* (2011) Vol. 19, No. 6 (89) pp. 83-88.
- ix C. Schramm, W.H. Binder, R. Tessadri, *J. Sol-Gel Sci Technol*, **29** (2004) pp155–165
- x B. Mahltig, H. Haufe, H. Böttcher, *J. Mater. Chem.*, **15** (2005) pp 4385–4398
- xi T. Textor, *Modification of textile surfaces using sol-gel technique*, *Surface modification of textiles*, Ed. Q. Wei, Woodhead Publishing, Cambridge, Great Britain, 2009
- xii A. Farouk, T. Textor, E. Schollmeyer, A. Tarbuk, A. Grancacic, *AUTEX Research Journal*, **9** No. 4 (2009), 114-120
- xiii T. Textor, T. Bahners, E. Schollmeyer, *Organically modified ceramics for coating textile material*, *Progr. Colloid Polym. Sci.* 117 (2001) 76-79
- xiv B. Mahltig, T. Textor, *Nanosols & Textiles*, (2008), World Scientific Publishing Co, Singapore
- xv G. Schottner, K. Rose, U. Posset, *J. Sol-Gel Sci Technol*, **27**(1) (2003), 71-79
- xvi K.H. Haas, S. Amberg-Schwab, K. Rose, G. Schottner, *Surface and Coatings Technology*, **111**(1) (1999), 72-79.
- xvii M. A. Aegerter, R. Almeida, A. Soutar, K. Tadanaga, H. Yang, T. Watanabe, *J Sol-Gel Sci Technol* **47** (2008), 203–236
- xviii <http://www.chemie.de/news/118750/bayer-materialscience-veraeussert-know-how-und-patente-an-partner-alanod.html>
- xviii C.J. Brinker, G.W. Scherer, *Sol-Gel-Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, (1990), Academic Press, San Diego